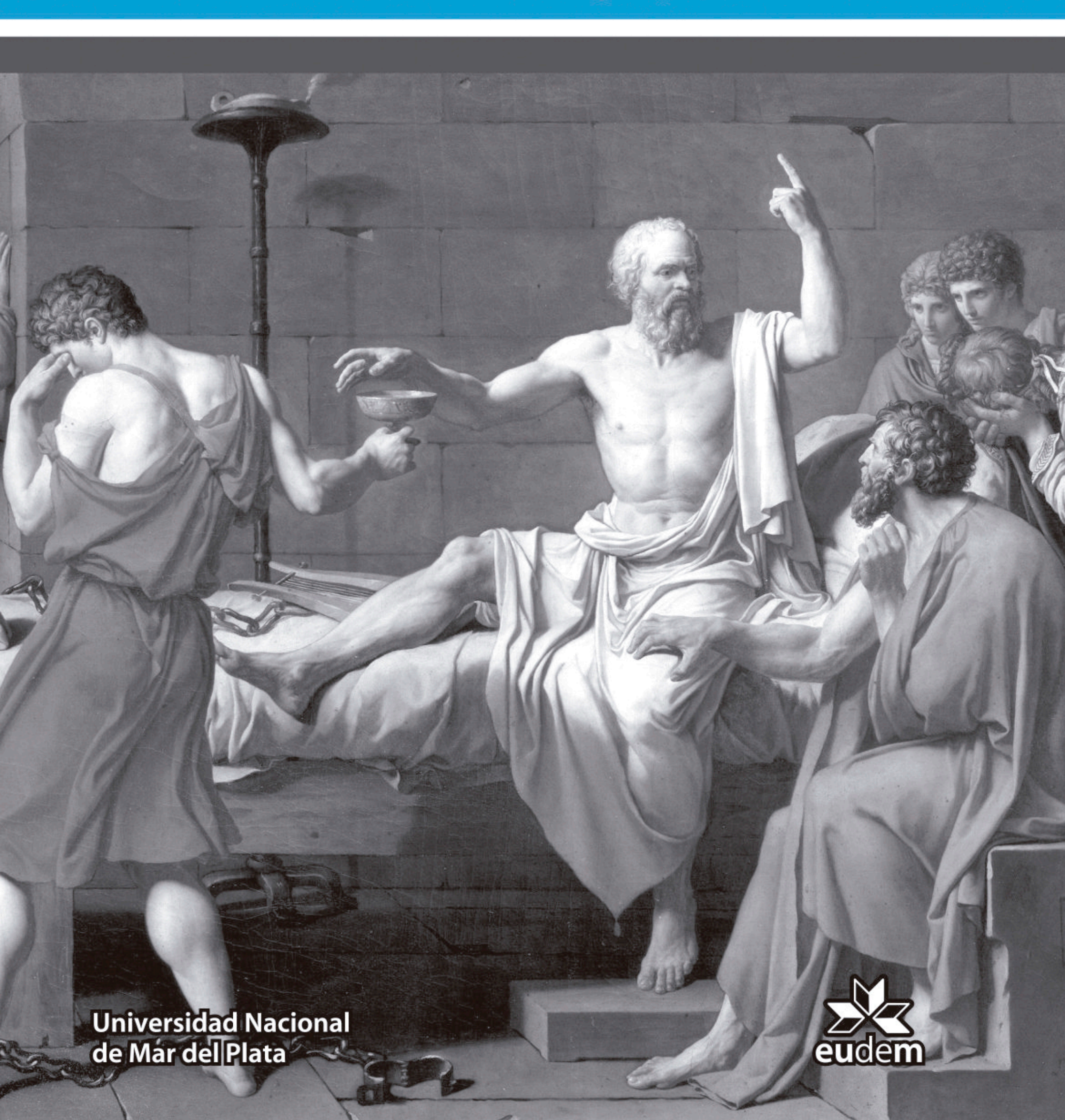
Miguel Hoyuelos

Ciencia y tragedia

Los Griegos y sus herederos



CIENCIA Y TRAGEDIA

Los Griegos y sus herederos

Miguel Hoyuelos



Hoyuelos, Miguel
Ciencia y tragedia : los griegos y sus herederos / Miguel Hoyuelos. - 1a ed . - Mar del Plata : EUDEM, 2018.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga
ISBN 978-987-4440-23-5

1. Historia. I. Título.
CDD 909

Primera edición: mayo 2018

Este libro fue evaluado por el Dr. Arturo Álvarez Hernández

ISBN 978-987-4440-23-5

Editorial de la Universidad Nacional de Mar del Plata
3 de febrero 2538 / Mar del Plata / Argentina

Imagen de tapa: "The Death of Socrates" de Jacques-Louis David (1748-1825)



PREFACIO

Muchos de los protagonistas de la historia de la ciencia tuvieron vidas difíciles, e interesantes. Abundan los conflictos y las injusticias. No son raros los casos en los que han sufrido el rechazo injustificado o sus vidas han sido tocadas, en mayor o menor medida, por la tragedia.

Es difícil explicar por qué las historias trágicas resultan atractivas. Una respuesta rápida es que sirven de consuelo de las propias penas. También, quizá, a uno lo anime cierto espíritu de reivindicación ante la injusticia. Espíritu a estas alturas inútil, pero no por eso ausente. Según Aristóteles (*Poética*, III, 1), la tragedia, "moviendo a compasión y terror, dispone a la moderación de estas pasiones". En *El origen de la tragedia* (1872), Nietzsche describe las categorías dionisíaca (asociada a lo irracional, lo caótico, los impulsos vitales, el éxtasis y el placer del desenfreno) y apolínea (lo racional, equilibrado, ordenado y mesurado). El libro es una apología de lo dionisíaco. La tragedia griega es una mezcla de héroe apolíneo con destino dionisíaco. El espectador siente el placer asociado a lo dionisíaco que explicaría el atractivo de las historias trágicas. En el campo de la sabiduría griega, la preeminencia corresponde, en cambio, a Apolo. La entrada a su templo en Delfos tenía la inscripción "conócete a ti mismo". Según esta clasificación, entonces, los científicos da la Antigüedad serían apolíneos. Sin embargo, según Colli, en *El nacimiento*

de la filosofía (2000), la visión de Nietzsche debe ser modificada, pues Apolo tiene aspectos de locura o manía antes solo asociados a Dioniso. La locura y el éxtasis aparecen en el fenómeno de la adivinación en el oráculo de Delfos. La locura estaría en la fuente del conocimiento (ver. p. 106 para algunos ejemplos). Después de todo, el sabio es anormal, si por normal se entiende lo común. Los personajes que aparecen en este libro están asociados al conocimiento y a la tragedia. No parece posible encasillarlos dentro de una categoría apolínea o dionisíaca.

Filosofía y ciencia no estaban separadas en la Antigüedad. Comparten un origen común y el amor por el conocimiento. También la autonomía intelectual, la capacidad de aceptar o rechazar ideas solo por razonamientos propios, sin importar las opiniones de otros.

El criterio utilizado en este libro para seleccionar sabios de la Antigüedad ha sido que el rechazo, la injusticia o la tragedia apareciera en sus vidas y que su trabajo tuviera relevancia o influencia en las ciencias físicas (hoy divididas en física, astronomía, química y ciencias de la tierra) o en matemática. También se ha incluido a Sócrates por su enorme influencia en el desarrollo del método científico. Las historias son dispares. La terrible muerte de Hipatia no es comparable, por ejemplo, con el final casi tragicómico de Crisipo. Sin embargo, cada personaje seleccionado ha sufrido un grado suficiente de conflictividad como para hacer que su historia resulte interesante.

El propósito general es lograr un acercamiento a la ciencia de la Antigüedad a través de las historias o leyendas de algunos de sus protagonistas. No se trata, por lo tanto, de una presentación integral de la ciencia griega, sino parcial y limitada a las contribuciones de los personajes seleccionados. La selección permite, sin embargo, una visión bastante amplia de temas incluyendo, por ejemplo, las teorías de la materia, los elementos, el atomismo, las teorías del movimiento, los esquemas del universo y aspectos de lógica y matemática como el teorema de

Pitágoras, los números irracionales o las secciones cónicas.

El lapso abarcado se extiende desde Tales, siglo VI a. C., hasta alrededor del siglo VI d. C., y la región considerada es Grecia y su zona de influencia en torno al Mediterráneo.

Los capítulos tienen un orden cronológico, con algunas excepciones. Por ejemplo, en el capítulo 5 se habla sobre Demócrito, (siglo V-IV a. C.), sobre Epicuro, que vivió un siglo después, y también sobre Lucrecio (siglo I) para tratar el tema del atomismo de manera unificada. El último capítulo trata sobre la Academia y el Liceo de Atenas y la Biblioteca y el Museo de Alejandría, cuyas historias abarcan varios siglos y se superponen en el tiempo a los capítulos anteriores.

El libro está compuesto por dos estructuras narrativas entrelazadas: una se refiere a datos de la vida de los protagonistas y la otra a sus contribuciones científicas. Las contribuciones se presentan de manera necesariamente resumida y a nivel de divulgación.

La principal fuente biográfica es el libro de Diógenes Laercio, *De los filósofos más ilustres*. Su obra, ignorada por alrededor de un siglo, ha sido revalorizada en las últimas décadas como la fuente de casi toda la información biográfica disponible y por haber tenido una gran influencia en la interpretación filosófica de los textos originales; ver, por ejemplo, Chitwood (2004, p. 5) y las referencias citadas allí. Se lo suele mencionar, sin embargo, como una fuente poco confiable. A su favor se puede decir que, en varias ocasiones, el mismo Diógenes Laercio manifiesta escepticismo cuando los datos son dudosos y que, enfrentado a versiones contradictorias, las reproduce todas.

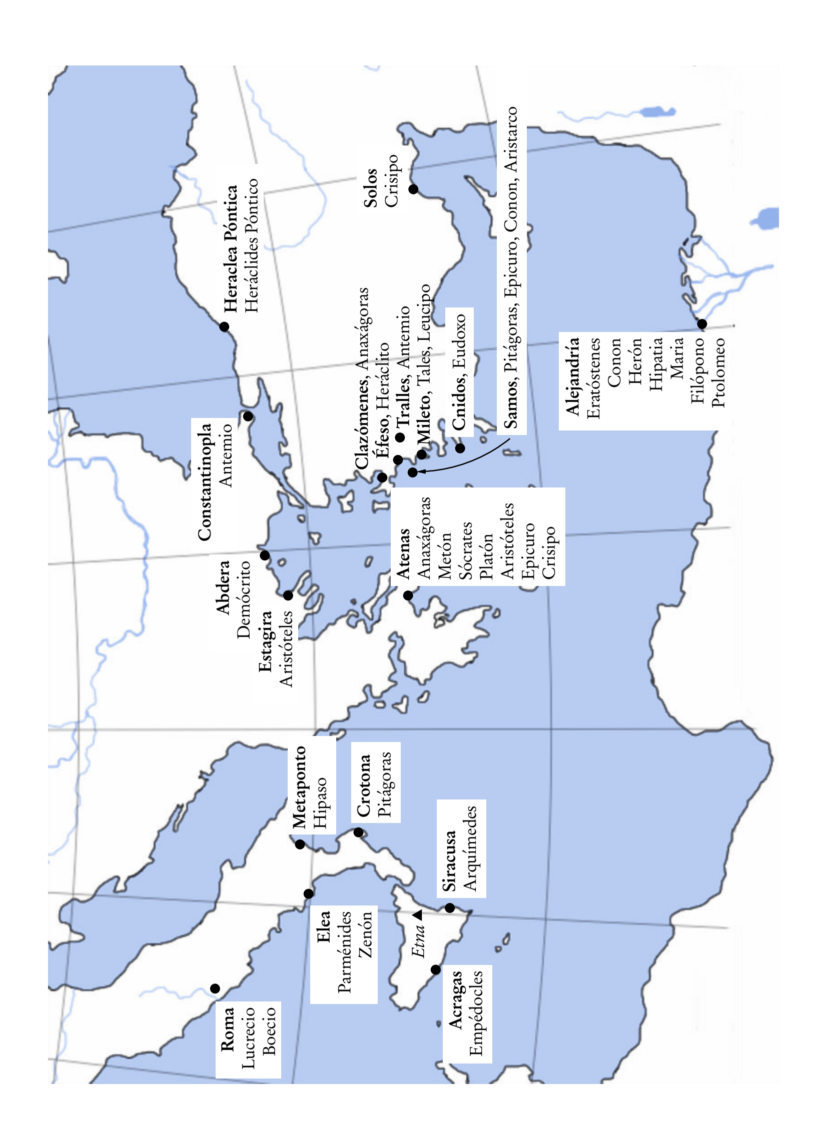
Con respecto a los retratos disponibles de la mayoría de los protagonistas solo tenemos el aspecto que, en algún momento, un artista imaginó. Las excepciones son Sócrates, Aristóteles y Crisipo, cuyos bustos reproducen rasgos reales.

Se incluyen varias citas textuales que, en muchos casos, pertenecen a los protagonistas. Leer las palabras que utilizaron

nos transporta en el tiempo y nos permite un acercamiento más directo a su pensamiento, a pesar de las necesarias traducciones. Las referencias bibliográficas se incluyen como notas al final del libro. Se ha evitado el uso de llamadas insertadas en el texto para lograr una lectura más fluida. Las notas al final se identifican con una pequeña porción del texto entre corchetes.

Agradezco a Raúl Fernández por permitirme participar con estos temas en su programa de radio. También agradezco a Raúl Zamorano, Alberto de la Torre, Héctor Mártin, Patricia Giménez, Arturo Álvarez Hernández, Pablo Sisterna, Héctor Vucetich y a mis padres por valiosos comentarios y sugerencias.

M. Hoyuelos
Mar del Plata, noviembre de 2012.



Ciudades de Grecia y regiones cercanas. Se muestran las ciudades natales y/o aquellas donde trabajaron los personajes que aparecen en este libro.

1

CAER EN UN POZO

Que todos nuestros discursos comiencen con una referencia a Tales.

Carta de Anaxímenes a Pitágoras.

Al principio fue el caos. Del caos informe y vacío surgió Gea, la Tierra, y otras divinidades primarias, como Eros, el amor, y Nix, la noche. Nix dio nacimiento a Éter, la atmósfera, y a Hemera, el día. Con la noche y el día, el tiempo adquirió una estructura organizada y, poco a poco, surgió orden del caos. Gea engendró a Urano, el cielo, y también a las montañas y el mar. Helios, el Sol, y Selene, la Luna, fueron descendientes de Gea y Urano, que tuvieron varios hijos. Crono, el menor y más terrible, castró a su padre y se transformó en el soberano de los dioses. Sin embargo, luego fue desplazado por su hijo Zeus.

Así había sido siempre, durante siglos. Hasta que algunos griegos empezaron a elucubrar explicaciones del mundo en las que los dioses estaban ausentes.

Tales

Las preguntas más profundas y más difíciles de responder suelen ser simples de plantear. ¿De qué está hecho todo? ¿Cuál es la realidad última, la esencia de las cosas?

Tales de Mileto (c. 624 - c. 545 a. C.) afirmaba que todo, en el fondo, está hecho de agua. El vapor de agua, al diluirse, parece desaparecer y transformarse en aire. Algunos insectos pa-

recen surgir por generación espontánea de la humedad. Aire del vapor, insectos de la humedad... todo proviene del agua.

Hoy sabemos que la idea resultó equivocada, e incluso puede parecer algo decepcionante. Desde una perspectiva actual, se espera algo más de una teoría científica. Pero un juicio negativo sería apresurado y superficial. Si se analiza con más profundidad se encuentran tres razones por las que la idea tuvo una relevancia extraordinaria. La primera es que —en la afirmación de Tales— estaba implícito que el mundo puede describirse de manera simple en términos de uno o unos pocos elementos. Esta búsqueda de simplicidad, elegancia o belleza ha sido desde entonces uno de los motores de la actividad científica. Siempre se prefiere la teoría que sea capaz de explicar la naturaleza con el menor número posible de ingredientes. La segunda razón es que su propuesta podía ser criticada y modificada por otros. Fue el punto de partida de un camino que, pasando por los elementos de Empédocles, las teorías alquimistas y la tabla de Mendeléyev, nos ha llevado hasta los electrones, neutrinos y quarks del modelo estándar de la materia. Este fructífero camino de descubrimientos no ha finalizado, y no sabemos cuándo o si alguna vez lo hará, pero sabemos cuándo comenzó: con el genio de Tales. Y la tercera razón es que, por primera vez, se propuso una explicación no mítica del mundo, sin ingredientes sobrenaturales. Su intento de explicar la naturaleza sin hacer referencia a la mitología resultó fundamental para el inicio y desarrollo de la ciencia en Occidente.

Aristóteles considera a Tales como el primero en investigar los principios básicos de la materia, el fundador de la filosofía natural, o de lo que hoy llamaríamos ciencia de la naturaleza o ciencias físicas.

Tales estudió los efectos eléctricos del ámbar frotado y los magnéticos de imanes. "Electricidad" proviene de la palabra griega "elektron", que significa ámbar. Los movimientos generados por una extraña acción a distancia parecían dotar a esos obje-



—No hay diferencia entre la vida y la muerte.
—¿Por qué no te mueres tú?
—Porque no hay diferencia.

Fig. 1.1. Tales, retrato imaginario del siglo XVII, y un diálogo citado en el libro de Diógenes Laercio.

tos de alma. Existía la creencia de que todas las acciones naturales eran producidas por divinidades, e incluso Tales decía que "todo está lleno de dioses". Según Aristóteles (ver notas al final, p. 251, para referencias bibliográficas),

> Parece que también Tales, a juzgar por lo que de él se recuerda, supuso que el alma es un principio motor si es que afirmó que el imán posee alma puesto que mueve el hierro.

Que objetos inanimados poseyeran alma lo llevó quizá a afirmar que no hay diferencia entre la vida y la muerte. Alguien le preguntó, entonces, porqué no se quitaba la vida. Él respondió, justamente, porque no hay diferencia.

Con respecto a los eclipses de Sol, cuenta Aecio que



Fig. 1.2. La escena muestra a Tales apuntando hacia el agua del mar; indica que el mundo, representado por la esfera a su costado, está hecho de agua. Si el árbol es un olivo, es posible que también se esté haciendo alusión a la anécdota en la que Tales logró una fortuna cuando arrendó muchos olivares, o compró las prensas de aceite, una temporada que hubo una cosecha abundante y que había logrado prever gracias a sus conocimientos. Alguien le había echado en cara que su inútil filosofía no lo libraba de la pobreza. Ilustración de 1598.

> Tales fue el primero en afirmar que el eclipse de Sol era causado por la Luna moviéndose en una linea perpendicular entre él y el mundo. (...) Cuando el Sol es eclipsado, la Luna está en línea directa bajo él.

La influencia de la ciencia en los asuntos de la guerra tuvo, con Tales, un comienzo esperanzador. Según Heródoto, predijo el eclipse que puso fin a un enfrentamiento entre lidios y medos:

> hubo una [batalla] nocturna en el año sexto de la guerra que ambas naciones proseguían con igual su-

> ceso, porque en medio de la batalla misma se les convirtió el día repentinamente en noche; mutación que Tales de Mileto había predicho a los jonios, fijando el término de ella en aquel año mismo en que sucedió. Entonces lidios y medos, viendo el día convertido en noche, no solo dejaron la batalla comenzada, sino que tanto los unos como los otros se apresuraron a poner fin a sus discordias con un tratado de paz.

Hoy se puede calcular que el eclipse sucedió el 28 de mayo de 585 a. C., y que, en la zona de la batalla, junto al río Halys, fue total. El eclipse sucedió, pero muchos ponen en duda que Tales haya podido disponer de las herramientas necesarias para predecirlo. Los caldeos conocían el período de repetición de los eclipses, llamado *saros*, que dura alrededor de 18 años y 11 días. Luego de un eclipse, si se espera un saros, el Sol, la Tierra y la Luna retornan aproximadamente a la misma posición relativa, y el eclipse se repite. Este conocimiento, basado en datos que se remontaban al reino babilonio de Nobonasar del siglo VIII a. C., pudo haber llegado a Grecia por distintas vías. Se dice que Tales viajó mucho, estuvo en Egipto, y posiblemente también en Caldea. Pero en el caso de los eclipses de Sol hay un inconveniente. A diferencia de los de Luna, son visibles solo en una región limitada de la superficie de la Tierra. Luego de un saros el eclipse se repite, pero no en el mismo sitio, sino a aproximadamente un tercio de circunferencia terrestre hacia el oeste. Hacer la predicción, entonces, resulta difícil pues es necesario tener datos de observaciones en puntos de la Tierra alejados entre sí. Por ejemplo, si se observa un eclipse de Sol en Babilonia, luego de un saros el eclipse se repite lejos de allí, y los astrónomos babilonios no pueden registrar una periodicidad. Hay otra complicación: varios ciclos progresan en forma simultánea, de modo que es necesario identificar qué eclipse corresponde a qué ciclo. Una alternativa al saros es la posibilidad de que, basándose en registros antiguos, Tales haya identificado otro ciclo: luego de

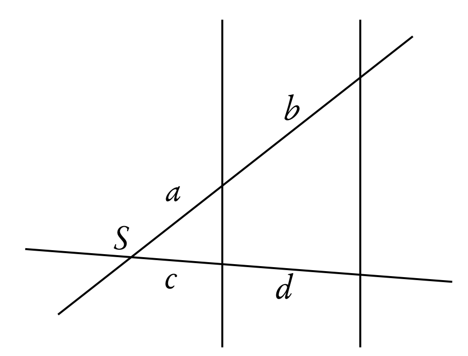


Fig. 1.3. Diagrama del teorema de Tales. Dos rectas que se cruzan en el punto S son cortadas por dos líneas paralelas. Las longitudes de los segmentos resultantes satisfacen, por ejemplo, la relación $a/c = b/d$, entre otras.

un eclipse de Luna, pasados 23 meses y medio, es probable que se produzca un eclipse de Sol, aunque no siempre sucede. En el caso del eclipse del 28 de mayo de 585 a. C., hubo un eclipse lunar 23 meses y medio antes, que pudo haber sido el indicio que utilizó Tales para su predicción. En resumen, si Tales predijo el eclipse, tuvo algo de suerte.

Se atribuye a Tales un teorema importante de geometría básica. El teorema dice que existen relaciones de proporcionalidad entre los segmentos de dos líneas que se cortan en un punto y son intersecadas por dos paralelas, como se ilustra en la figura 1.3. Tales utilizó el resultado del teorema para medir la altura de las pirámides de Guiza con una estaca. La sombra y la altura de la estaca son proporcionales a la sombra y la altura de la pirámide. Como se ve en la figura 1.4, forman lo que se conoce como "triángulos similares", de distintos tamaños pero con los mismos ángulos. Conociendo tres valores, la altura y la sombra de la estaca y la sombra de la pirámide, se puede obtener el cuar-

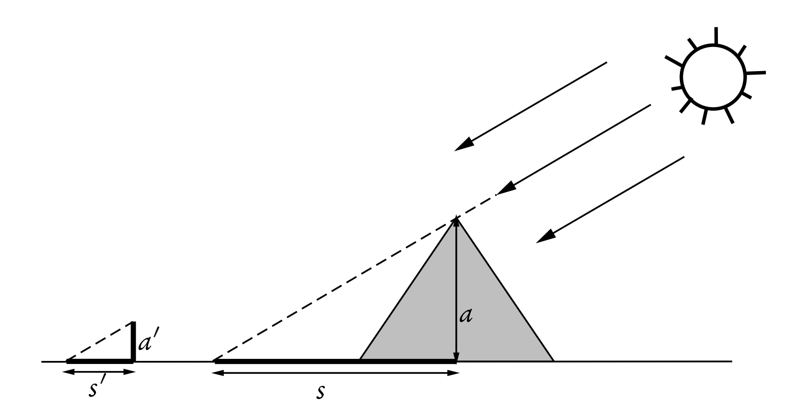


Fig. 1.4. La altura a de la pirámide puede calcularse midiendo la altura a' de una estaca, su sombra s' y la sombra de la pirámide s. Por el teorema de Tales se tiene que la relación entre alturas es la misma que entre longitudes de sombras: $a/a' = s/s'$, por lo tanto $a = a's/s'$.

to: la altura de la pirámide. Plutarco lo cuenta de la siguiente manera. Tales se dirige caminando a un banquete con los siete sabios de Grecia. Lo acompaña un emisario del rey Amasis II de Egipto. Hablando de la admiración que Amasis sentía por el filósofo Bías, el emisario dice dirigiéndose a Tales

> También a ti te admira por otras cosas, pero sobre todo se sintió profundamente complacido con tu manera de medir la pirámide, ya que sin ningún trabajo y sin utilizar instrumento alguno, sino colocando de pie un bastón en el límite de la sombra que proyectaba la pirámide, habiéndose formado dos triángulos con la intersección de los rayos del sol, demostraste que la sombra guardaba con la otra sombra la misma relación que la pirámide con el bastón.

Luego el emisario se lamenta de algunas frases atribuidas a Tales que llegaron a oídos del rey y que no fueron de su agrado. Le

achaca haber afirmado, durante una conversación sobre animales, que el tirano es el peor de los animales salvajes. Tales contesta que no fue él el autor de la frase y no se preocupa por el hecho de que se la atribuyan, pues considera que no está tan mal. Dice

> me ha sucedido a mí lo mismo que a aquel joven que, estando lanzando piedras contra un perro y habiéndole dado a su madrastra, exclamó: "Tampoco así está mal".

La posición de Tales en cuestiones políticas tiene una asombrosa vigencia. Decía que la mejor democracia es la que no tiene ciudadanos ni demasiado ricos ni demasiado pobres.

Anaxímenes, discípulo de Tales, escribió una carta a Pitágoras donde relata con pesar el final de su maestro:

> Tales en su vejez partió con poca felicidad. Saliendo como solía del patio de su casa por la madrugada, acompañado de una criada, a fin de observar los astros, no acordándose del estado del terreno, mientras miraba los cielos atentamente, se precipitó en un hoyo. De esta manera los milesios perdieron a su astrónomo.

Hay un dato adicional que no aparece en la carta de Anaxímenes, y que se reproduce en otra parte del libro de Diógenes Laercio. Se trata de la burla cruel de la anciana criada que dicen que dijo: "¡Oh, Tales, tú presumes de ver lo que está en el cielo, cuando no ves lo que tienes a los pies!"

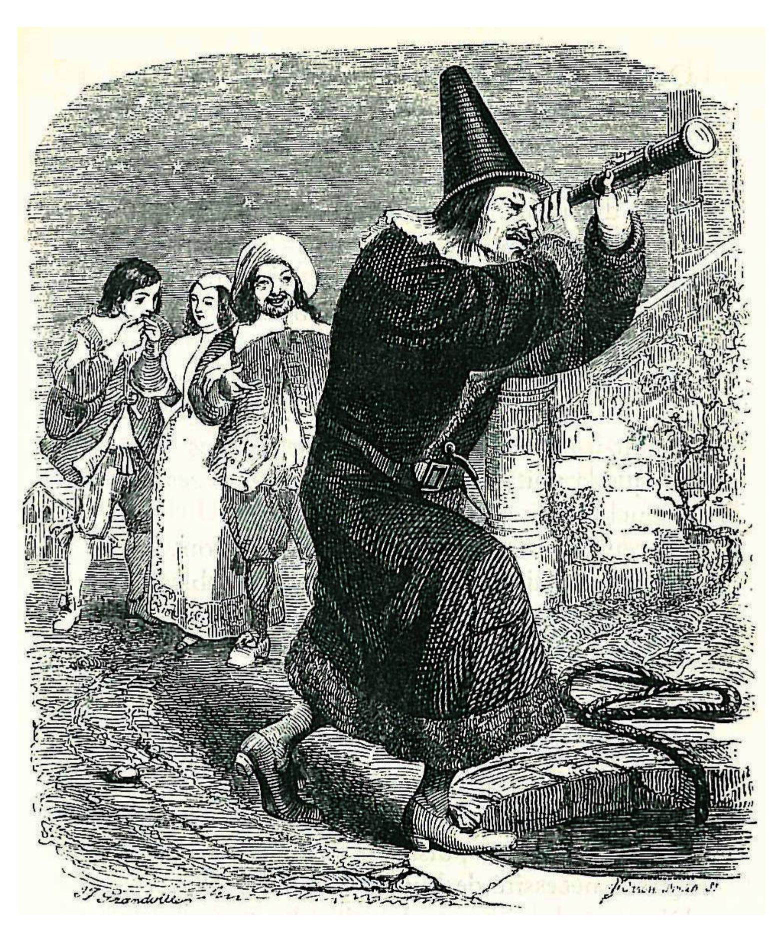


Fig. 1.5. Una fábula de Esopo, *El astrónomo y la mujer tracia*, relata la caída de Tales. La ilustración, del siglo XIX, es de un libro de fábulas de La Fontaine, que se inspiró en las de Esopo.

2

LOS PITAGÓRICOS Y LOS NÚMEROS

Pitágoras

Pitágoras (c. 570 - c. 495 a. C.) creció en la isla de Samos, cerca de Mileto, en la costa de Asia Menor. Emigró a la ciudad de Crotona, una colonia griega en el sur de Italia, donde fundó una escuela que tenía la forma de una comunidad cerrada. Es famoso por el teorema que lleva su nombre y por las investigaciones en armonía musical y acústica, realizadas por él o por sus seguidores. Sin embargo, en la Antigüedad su fama se debía a otros motivos.

Era considerado un conocedor del destino del alma luego de la muerte. Enseñaba que el alma inmortal atravesaba una serie de reencarnaciones y decía tener la capacidad de recordar sus vidas pasadas. Era visto como un experto en rituales religiosos y como el fundador de un estricto estilo de vida que enfatizaba una dieta vegetariana y una auto disciplina rigurosa. El carácter dual de sus enseñanzas se manifestó en la estructura de la comunidad pitagórica: estaban divididos en matemáticos (los que desarrollan la ciencia) y acusmáticos (los que desean escuchar, los que cultivan las prácticas místicas y redentoras de Pitágoras). Pitágoras, sin embargo, representaba una síntesis de estas dos líneas, en apariencia opuestas, al practicar el ejercicio de la matemática como una experiencia mística. Russell (1946) dice al

respecto

> Esto puede sonar extraño para aquellos que aprendieron de mala gana un poco de matemática en la escuela; pero para los que han experimentado el deleite embriagador de la comprensión súbita que da la matemática, de cuando en cuando, a quienes la aman, la visión pitagórica parecerá completamente natural aunque no sea cierta.

Agrega que la palabra "teoría" tiene su origen en la religión órfica y que se puede interpretar como "contemplación simpática apasionada". A través de Pitágoras fue adquiriendo su significado más moderno de pensamiento abstracto de tipo contemplativo y racional.

Pitágoras presentó una estructura del cosmos basada en principios morales y en ciertas relaciones numéricas. Los cuerpos celestes se movían de acuerdo con relaciones matemáticas que también gobernaban los intervalos de concordancia musical, produciendo una música de los cielos, que en tradiciones posteriores se conoció como armonía de las esferas. Aristóteles atribuye a los pitagóricos la idea de que las cosas están hechas de números, y la critica diciendo que

> cuando dicen que los objetos naturales vienen de los números, que lo pesado o ligero procede de lo que no tiene peso ni ligereza, al parecer hablan de otro cielo y de otros cuerpos distintos de los sensibles.

Conocer la vida de Pitágoras y sus seguidores, los pitagóricos, es un problema complicado de resolver. No dejaron nada escrito, los relatos más detallados de la vida y el pensamiento de Pitágoras datan de ocho siglos luego de su muerte. Ni siquiera se tiene la certeza de que haya demostrado su famoso teorema. El teorema dice que el cuadrado del lado mayor (o hipotenusa) de un triángulo rectángulo es igual a la suma del cuadrado de los otros dos lados. En la figura 2.1 se muestra el esquema de una de las posibles pruebas.

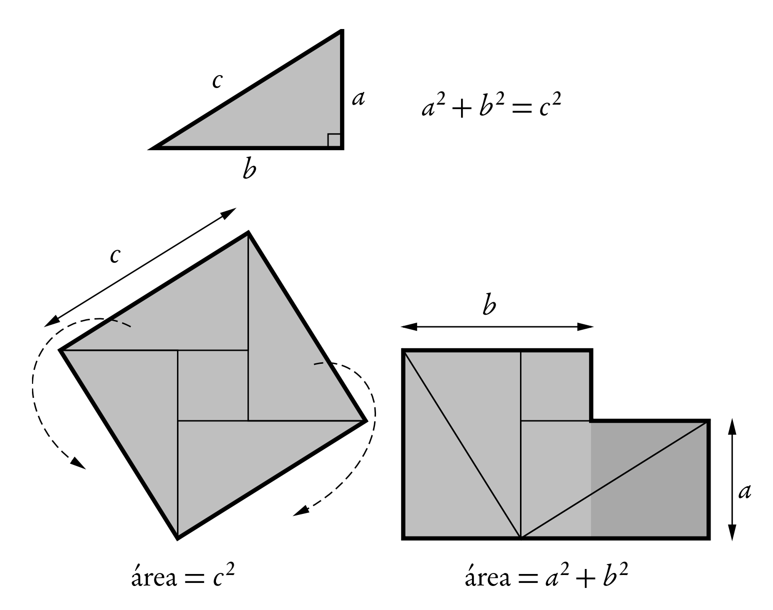


Fig. 2.1. El teorema de Pitágoras se aplica a triángulos rectángulos, como el que se muestra en la parte superior, de lados a, b y c, donde c es el lado mayor. El teorema dice que $c^2 = a^2 + b^2$. Las figuras de abajo representan una posible prueba geométrica. Se usan cuatro triángulos para formar un cuadrado de lado c, cuya área es c^2. Se desplazan dos triángulos como indican las líneas de trazos. Así se obtienen dos cuadrados de lados a y b, cuya área total, $a^2 + b^2$, debe ser igual a la anterior, c^2, que es lo que queríamos demostrar.



Fig. 2.2. *Pitágoras instruyendo a los pescadores*, óleo de S. Rosa, 1662. La escena ilustra una anécdota relatada por Plutarco. Pitágoras salva a los peces rescatándolos, ante sus discípulos, de las redes de los pescadores. Enseñaba que se debe evitar toda crueldad con los animales pues sus cuerpos pueden contener almas humanas.

Durante el siglo III los logros de Pitágoras fueron bastante exagerados. Se lo consideraba la fuente de toda filosofía verdadera, cuyas ideas fueron copiadas por Platón, Aristóteles y todos los filósofos griegos que siguieron. Jámblico de Calcis (c. 245 - 325) presentó a Pitágoras como un enviado de los dioses para iluminar a la humanidad. Porfirio (c. 232 - 304) enfatizó los aspectos divinos de Pitágoras hasta ponerlo como un posible rival de Jesús. Diógenes Laercio cuenta que era tan admirado que sus sentencias eran llamadas “palabras de Dios”.

No solo los neopitagóricos del siglo III atribuían cualidades divinas a Pitágoras. Mucho antes, Aristóteles decía que

Pitágoras tenía un muslo de oro, considerado entonces como un signo de divinidad. También que aparecía al mismo tiempo en Metaponto y en Crotona, y que mató a una serpiente venenosa de una manera curiosa: mordiéndola. La gente de Crotona lo llamaba Apolo Hiperbóreo (una de las manifestaciones de Apolo). Existen similitudes entre las habilidades sobrenaturales de Pitágoras y las de Empédocles, de quien se hablará más adelante, que prometía a sus alumnos enseñarles el control de los vientos y cómo resucitar a los muertos. Según Jámblico, los pitagóricos enseñaban que, de los seres racionales, un tipo es divino, otro es humano, y otro es como Pitágoras.

Pero no todos tenían tan buen concepto. Según Heráclito (c. 535 - c. 484 a. C.), Pitágoras era el jefe de los charlatanes. Quizá tenía presente la historia que cuenta Diógenes Laercio, en la que Pitágoras se hizo una habitación subterránea, se refugió en ella y luego

> ...pasado tiempo, salió Pitágoras flaco y macilento, y congregando gentes, dijo que volvía del infierno; y les iba contando las cosas acontecidas. Los oyentes, conmovidos por lo que había dicho, prorrumpieron en lágrimas y lamentos, y creyeron en Pitágoras algo de divino, de manera que le entregaron sus mujeres para que aprendiesen sus preceptos; de donde vino que fueron llamadas *pitagóricas*.

Algunas costumbres y preceptos de los pitagóricos no fueron tomados en serio por escritores de comedia griega del siglo IV a. C., como Antífanes, Alexis de Turio y Aristofón. Las reglas prohibían a los pitagóricos usar los baños públicos o comer seres animados. Un fragmento de una obra de Aristofón sugiere que esta vida ascética se basaba más en la pobreza que en el escrúpulo filosófico y que, si uno ponía carne y pescado frente a uno de estos "pitagoristas", los engullían sin reparos. En un fragmento de Alexis, luego de que el orador informa que los pitagóricos no comen seres animados, alguien interrumpe di-



Fig. 2.3. Pitágoras emergiendo del mundo de los muertos. Óleo de S. Rosa, siglo XVII, fragmento.

ciendo "Epicharides come perros, y es un pitagórico", a lo que el orador responde "sí, pero los mata primero y así ya no están animados". Se supone que también Jenófanes se burlaba cuando contaba que

> Una vez, dicen, [Pitágoras] pasaba cuando un cachorro estaba siendo golpeado, se compadeció y dijo: "¡Alto! Cesa la paliza, porque ésta es en realidad el alma de un hombre que fue mi amigo; lo reconocí cuando lo escuché aullar".

Algunas actitudes eran interpretadas como símbolos que revelaban afinidad con el pensamiento de Pitágoras. Diógenes Laercio da una lista y explica su significado. No herir fuego con espada equivale a no incitar la ira de los poderosos. No pasar por encima de una balanza es no traspasar la igualdad y la

Es mejor ser atrapado que pisar estas habas.



Fig. 2.4. Retrato de Pitágoras del siglo XVII, basado en la imagen de una moneda romana de la época del emperador Decio, siglo III. Y su frase póstuma.

justicia. No comer corazón expresa que no se ha de atormentar el ánimo con angustias, etc. Luego agrega: “Por estos términos se explica lo restante”, y nos deja sin indicios para entender qué puede significar no fregar la silla con aceite, o no mear de cara al sol.

Otro precepto importante, relacionado con la muerte de Pitágoras, era no comer habas, ni siquiera tocarlas. Un motivo aludido por Aristóteles era que semejan las partes pudendas; otro, que se usaban para votar, de donde se deduce que la recomendación significa no involucrarse en asuntos políticos. Pero no fue ésta la actitud de Pitágoras. Según una versión, los crotoniatas terminaron con su vida por asuntos políticos, pues temían que les impusiera un gobierno tiránico.

En una carta a Anaxímenes, Pitágoras cuenta que

> no siempre estoy en mis lucubraciones; también ando entre las guerras que mutuamente se hacen los italianos.

Pitágoras y sus seguidores participaron a favor de los agrigentinos en un conflicto con los siracusanos. Fueron derrotados. Luego de una batalla o, según otra versión, luego de que incendiaran la casa donde se encontraba, al huir se topó con un campo de habas. Se detuvo y dijo: "mejor es ser atrapado que pisar estas habas". Se volvió hacia sus perseguidores y descubrió la garganta al filo de las espadas enemigas. Se dice que así murió Pitágoras, junto a muchos de sus discípulos, por culpa de unas habas.

Teorema ¿de Pitágoras?

Una persona debía resolver el siguiente problema: si se tiene un cuadrado de lado 30, ¿cuánto mide su diagonal? Tomó un poco de arcilla fresca, la alisó y luego trazó con habilidad, usando su estilete, las rectas que formaban el cuadrado. Escribió a un costado el número 30 para indicar la longitud del lado. Trazó las diagonales. Sabía que para un cuadrado de lado 1 la diagonal tiene una longitud igual a $\sqrt{2}$. Escribió ese valor sobre la diagonal. Para un cuadrado de lado 30, la diagonal debía ser 30 veces la raíz de 2. Hizo la cuenta y escribió el resultado. Observó la tablilla y quedó satisfecho, había resuelto correctamente el problema. Dejó la tablilla al sol para que se secara y se endureciera. Todo esto sucedió entre los siglos XVIII y XVII a. C., en Babilonia, unos 1200 años antes de Pitágoras. La tablilla puede verse en la figura 2.5. Arriba, a la izquierda, está el número 30: 𒌍, la longitud del lado. Sobre la diagonal se ve el número 1;24,51,10: 𒁹 𒎙𒐉 𒐏𒁹 𒌋. Se trata de una cifra en notación sexagesimal que podemos transformar a notación decimal de la siguiente forma: $1+24\frac{1}{60}+51\frac{1}{60^2}+10\frac{1}{60^3}=1{,}41421...$, una exce-

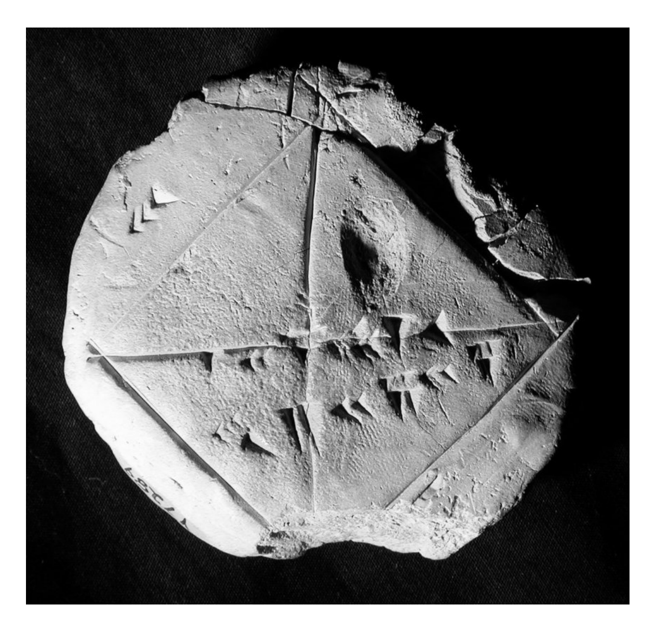


Fig. 2.5. Tablilla YBC 7289, de entre los siglos XVIII y XVII a. C., Babilonia. Contiene el cálculo de la diagonal de un cuadrado de lado 30.

lente aproximación a $\sqrt{2}$. Abajo se ve el resultado de multiplicar 30 por $\sqrt{2}$: o 42;25,35. La tablilla demuestra que los babilonios conocían el resultado del teorema de Pitágoras mucho antes que Pitágoras, pero no hay evidencia de que hayan obtenido una prueba general al estilo de la que se presenta en la figura 2.1.

La prueba griega más antigua es la que aparece en *Los elementos* de Euclides, de c. 300 a. C. En China se lo conoce como el teorema *gougo* (ancho-largo). La tradición lo atribuye a Shang Gao, el astrólogo del duque de Zhou, del siglo XI a. C. La versión de Shang Gao aparece en el libro *Zhou Bi Suan Jing* (*Clá-*

sicos de matemática del gnomon Zhou, ver referencias en notas al final, p. 253). El libro de Shang Gao es una sección del *Zhou Bi* que, según algunos investigadores, pudo haber sido escrito mucho después de la dinastía Zhou, alrededor del siglo I d. C. A la lista formada por Pitágoras y Shang Gao hay que agregar otro nombre, el de Apastamba, un sacerdote hindú de c. 600 a. C. Escribió un texto del género *Dharma-sastra* sobre temas variados que incluye una parte, del tipo *Shulba-sutra*, dedicada a principios de la geometría. Sabía que el cuadrado de la diagonal de un rectángulo es igual a la suma del cuadrado de los lados, una forma del teorema de Pitágoras que algunos suponen proveniente de la Mesopotamia.

Hipaso

Hipaso de Metaponto, discípulo de Pitágoras, vivió entre los siglos VI y V a. C. Junto a Pitágoras, Hipaso fue un pionero en el estudio matemático de la música y la armonía. Desarrolló la teoría de proporciones numéricas simples asociadas a los intervalos musicales que producen consonancia, y apoyó esta teoría con experimentos acústicos. Pitágoras sacó a los números de la esfera práctica del comercio para enfatizar las correspondencias entre el comportamiento de los números y el de las cosas. Tradiciones posteriores le adjudicaron la idea de que todo está fundado en números. Los intervalos armónicos dados por proporciones simples, y estudiados experimentalmente por Hipaso, apoyaban esta idea. Filolao (c. 470 - c. 385 a. C.), otro discípulo de la escuela de Pitágoras, decía que

> Uno debe estudiar las actividades y la esencia del Número. (...)
> Sin esto, todas las cosas son ilimitadas, oscuras e indiscernibles. Pues la naturaleza del Número es la causa del reconocimiento, capaz de dar orientación y enseñanza a todo hombre en lo desconcertante y lo

> desconocido. Pues nada de lo que existe estaría claro para alguien, tanto en sí mismo como en su relación con otras cosas, a no ser por la existencia del Número y su esencia. Pero de hecho el Número, encajando todas las cosas en el alma a través de la percepción sensorial, las hace reconocibles y comparables entre ellas, (...) el Número les da cuerpo. (...)
> La naturaleza del Número y la Armonía no admite falsedad; pues no está relacionada con ellos. La falsedad y la envidia pertenecen a la naturaleza de lo ilimitado y lo no inteligente y lo irracional. La falsedad de ningún modo puede respirar del Número; pues la falsedad es contraria y hostil a su naturaleza, mientras que la verdad está relacionada y en estrecha unión natural con el carácter del Número.

Cuando habla de Número, Filolao se refiere a los naturales, en especial a los más bajos (1, 2, 3, 4), o a fracciones. Arquitas, otro pitagórico, conectó de manera similar razonamiento matemático con valores morales como igualdad y justicia (ver p. 112).

La de Hipaso es una historia de secretos, condena y muerte dentro del grupo de los pitagóricos. Pitágoras no aparece en ella, y es posible que ya hubiera muerto en el momento en que sucedieron los hechos. Los detalles de la historia están desdibujados por el paso del tiempo. La principal fuente de información es Jámblico. Cuenta que Hipaso fue el fundador del grupo de los matemáticos, en oposición a los acusmáticos. También dice que fue el fundador de los acusmáticos, en oposición a los matemáticos. Con este tipo de información se ha reconstruido la historia que sucedió aproximadamente como sigue.

En algún momento, durante la primera mitad del siglo V a. C., Hipaso hizo un descubrimiento que dejó atónitos a sus compañeros pitagóricos. Se trataba de los números inconmensurables o irracionales, o sea, números que no pueden expresarse como el cociente de dos números naturales.

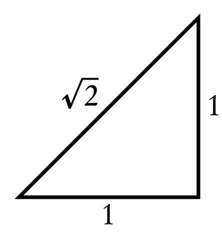


Fig. 2.6. Triángulo rectángulo con dos lados igual a 1.

La demostración de este descubrimiento es una pequeña joya de la matemática. Lo que sigue es una de las posibles demostraciones. Según el teorema de Pitágoras, un triángulo rectángulo de lados $a = b = 1$ tiene una hipotenusa $c = \sqrt{2}$; esta distancia es, por supuesto, la longitud de la diagonal de un cuadrado de lado 1. El problema era que nadie había podido encontrar un número fraccionario, o racional, que, al multiplicarlo por sí mismo, diera 2. Podía estar cerca, pero nunca daba exactamente 2. En un texto de Aristóteles, el problema se analiza de la siguiente manera.

Supongamos que podemos escribir $\sqrt{2} = m/n$, donde m y n son dos números naturales, en principio desconocidos, que no pueden ser ambos pares a la vez; si lo fueran, los podríamos dividir por 2 tantas veces como fuera necesario, y tendríamos la misma fracción.

Si elevamos al cuadrado ambos lados de la ecuación, obtenemos $2 = m^2/n^2$.

Entonces, $m^2 = 2n^2$, o sea, m^2 es par, lo que significa que m es par (ver nota al final, p. 253).

Si m es par, entonces se puede escribir $m = 2x$, donde x es algún número natural, y elevando al cuadrado se tiene $m^2 = 4x^2$. Como teníamos $m^2 = 2n^2$, entonces $4x^2 = 2n^2$.

No todo tiene un logos, hay números irracionales.

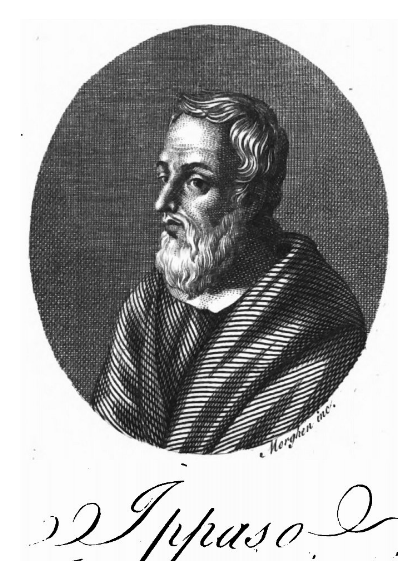


Fig. 2.7. Hipaso de Metaponto, retrato imaginario de 1817.

Por lo tanto $n^2 = 2x^2$ es par, lo que significa que n también es par.

Llegamos a una contradicción, pues por la definición inicial, m y n no eran ambos pares. Pero ahora resulta que sí lo son. La contradicción indica que se ha partido de una hipótesis falsa (*reductio ad absurdum*). De este modo queda demostrado que $\sqrt{2}$ no puede expresarse como el cociente de dos números naturales. Pertenece, por lo tanto, a otro tipo de números: los irracionales.

Cuando Hipaso terminó la demostración, sus compañeros estaban impresionados. Algunos autores terminan la historia en este punto con cierta brusquedad, pues afirman que la reacción de los pitagóricos fue arrojar a Hipaso por la borda del barco en el que navegaban en ese momento.

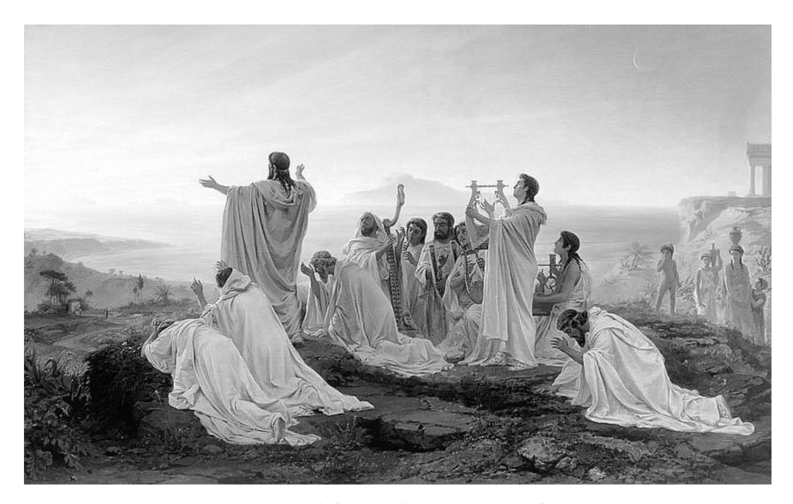


Fig. 2.8. *Los pitagóricos celebran el amanecer*, óleo de F. Bronnikov, 1869. Varios personajes tocan instrumentos musicales, lo que recuerda sus estudios de armonía y consonancia. Este grupo de apariencia pacífica fue el que, según algunas tradiciones, terminó con la vida de Hipaso.

Una versión bastante difundida dice que los pitagóricos vieron en la demostración de Hipaso una especie de blasfemia. Hipaso les estaba mostrando que la simple diagonal de un cuadrado no encajaba en el esquema de que todo está fundado en números naturales, o en fracciones. Creían que cualquier magnitud tenía una proporción, una razón o *logos*, pero según Hipaso la raíz de 2 no la tenía.

Otra posibilidad es que los pitagóricos quedaran tan asombrados con el descubrimiento de este nuevo tipo de números que lo consideraron un tesoro valioso, uno que no debía compartirse. Decían que "no deben manifestarse todas las cosas a todos". Blasfemia o tesoro, en todo caso el descubrimiento debía ocultarse. Quizá, en algún momento, Hipaso pensó que, si

mantenía el secreto, jamás recibiría la gloria del reconocimiento. Explicó la demostración a personas ajenas a la comunidad y recibió el castigo por su infidencia: murió ahogado. Jámblico deja claro que el castigo provino de los dioses y que se debió a comportamiento impío. Reconstrucciones más modernas de esta historia intentan poner a los dioses a un lado y culpan a los compañeros de Hipaso de arrojarlo al mar, como se mencionó antes. En cualquier caso, su final fue trágico.

La historia le otorgó, al fin, el reconocimiento que quizá buscaba. Hoy se lo suele presentar como un mártir de los números irracionales.

Algunos indicios sugieren que la relación entre Hipaso y Pitágoras no fue buena. Diógenes Laercio menciona un texto titulado *Discurso místico*, hoy perdido, que se supone escrito por Hipaso para desacreditar a Pitágoras. Jámblico da una versión sobre el final de Hipaso que arroja una sombra de duda sobre su honestidad:

> Con respecto a Hipaso, (...) encontró el destino de los impíos en el mar como consecuencia de haber divulgado y explicado el método de trazar la esfera de doce pentágonos [el dodecaedro], pero pudo lograr fama de inventor, y eso que todo pertenecía "a aquel hombre". En efecto, denominaban así a Pitágoras, y no lo llamaban por su nombre.

El dodecaedro es un sólido regular de doce caras, todas con forma de pentágono. Según Jámblico, el descubridor fue "aquel hombre", al que todo lo que sabían de geometría pertenecía, y lo identifica con Pitágoras. Exagera sus logros, una actitud común entre los neopitagóricos que consideraban a Pitágoras el origen de toda la filosofía griega.

Se cree que Hipaso no fue el autor de la construcción matemática del dodecaedro, pero tampoco Pitágoras; se lo considera un logro posterior de Teeteto (c. 417 - 369 a. C.). Un texto de Platón sugiere que el universo tiene la forma del dodecaedro,

y asocia los otros cuatro sólidos regulares a los cuatro elementos. Como el dodecaedro tiene pentágonos en sus caras, también el pentágono sería símbolo del universo. El pentagrama, la estrella de cinco puntas inscrita dentro de un pentágono, era el símbolo que los pitagóricos usaban para identificarse entre sí. Al hablar del dodecaedro, se supone que Jámblico se refiere a las caras en forma de pentágono y a la prueba geométrica de que la relación entre partes de un pentágono es un número irracional, pues en otra parte repite la historia refiriéndose al descubrimiento de los irracionales, el tema de Hipaso. El filólogo clásico Von Fritz (1944) tiene una opinión más favorable; dice que "no hay razón alguna para no creer que Hipaso fue capaz de demostrar la inconmensurabilidad entre el lado y el diámetro de un pentágono regular".

En los párrafos que siguen se describe con cierto detalle esta demostración que nos acerca más al razonamiento geométrico de los primeros pitagóricos. Antes, unas palabras de advertencia. La comprensión de estos razonamientos no solo requiere cierto esfuerzo intelectual, sino que también se debe enfrentar el vértigo de asomarse al abismo sin fin que se oculta en el centro de un símbolo satánico. Los que prefieran evitarlo, pueden saltear el resto de esta sección.

El pentagrama, símbolo de perfección matemática y del universo para los pitagóricos, era un símbolo mágico para algunos ocultistas. Es el que utiliza Fausto para invocar a Mefistófeles en la obra de Goethe. El pentagrama se suele dibujar dentro de un círculo. En nuestro caso toca los vértices de un pentágono, como se ve en la figura de la página 46.

Antes de analizar el pentagrama, es necesario mencionar el concepto de medida máxima común, o máximo común divisor, que abreviaré con las iniciales "mcd". El mcd de dos enteros es el mayor número que los divide en forma exacta, es decir, con resto cero. Por ejemplo, el mcd de 12 y 16 es 4. Se escribe lo mismo de forma más abreviada como $\mathrm{mcd}(12, 16) = 4$. Hay una

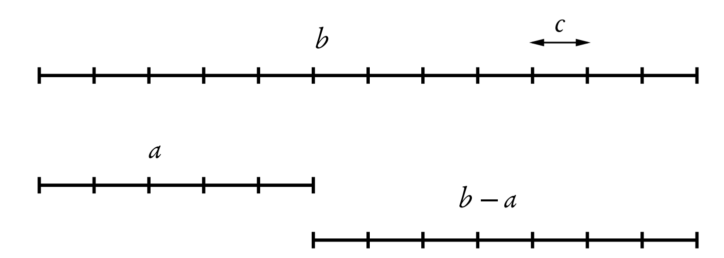


Fig. 2.9. El segmento de tamaño c es una medida común de las longitudes a y b, pues ambas son iguales a un número entero de veces c. También se ve que la diferencia, $b-a$, tiene la misma medida común.

forma eficiente de encontrar el mcd que era conocida en la época de Pitágoras, o aún antes. Se trata del algoritmo de Euclides, o método de sustracción mutua. Se basa en que el mcd de dos cantidades a y b, con $a < b$, es igual al mcd de a y $b-a$. O sea, $\text{mcd}(a,b) = \text{mcd}(a,b-a)$. Lo podemos aplicar, en forma repetida, al ejemplo anterior:

$$\text{mcd}(12,16) = \text{mcd}(12,4) = \text{mcd}(8,4) = \text{mcd}(4,4) = 4,$$

donde en el último paso se usó que el mcd de dos cantidades iguales es la misma cantidad. En general, si tenemos $\text{mcd}(a,b) = c$, la cantidad c es una medida común de a y b, pues ambas pueden expresarse como un número entero de veces c, o sea, $a = mc$ y $b = nc$, donde m y n son números enteros. Y esto, para los pitagóricos, es lo que da cuerpo a las magnitudes a y b, lo que las hacer reconocibles y comparables; si no fuera posible, las cosas serían "ilimitadas, oscuras e indiscernibles", como decía Filolao. Hallar la medida común c implica de forma inmediata que $a/b = m/n$ es un número racional, lo que llamaban *logos* o razón. Se suponía que la esencia de todo podía expresarse de esa manera. Ya vimos que no es posible para la relación entre el la-

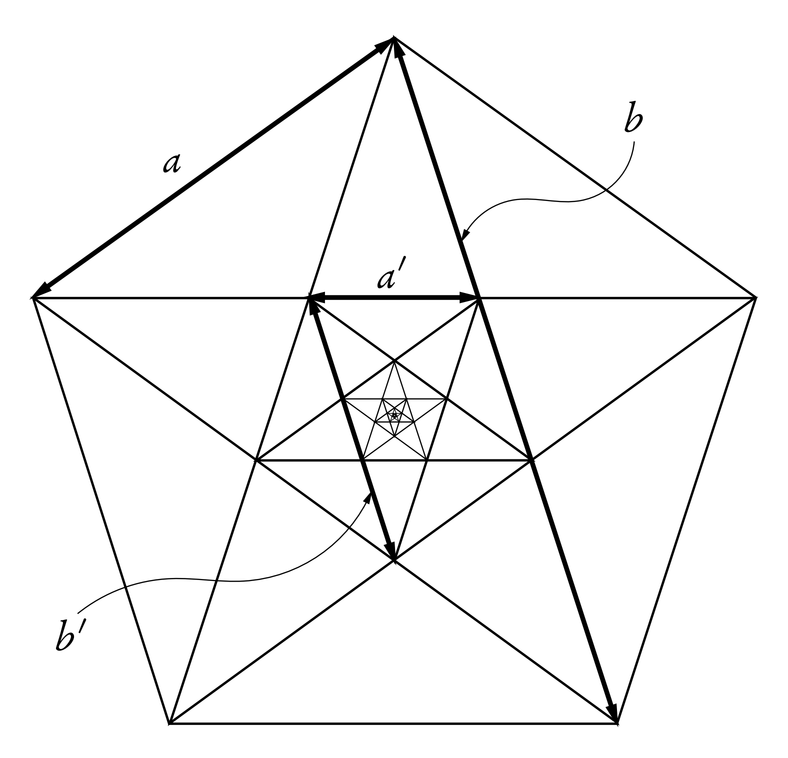


Fig. 2.10. Pentágono regular de lado a. Al trazar las diagonales, de longitud b, se obtiene la estrella de cinco puntas, el pentagrama. Dentro de la estrella aparece otro pentágono, de lado a', donde también se pueden trazar las diagonales, ahora de longitud b'. Así se puede seguir hasta el infinito.

do y la diagonal de un cuadrado. Ahora lo veremos, de forma geométrica, para las partes de un pentágono.

La figura 2.10 muestra un pentágono regular de lado a. Las diagonales, de longitud b, forman el pentagrama. Se puede demostrar que $b - a = b'$ y $a - b' = a'$, donde a' y b' son lado y diagonal del pentágono pequeño dentro de la estrella. La demos-

tración no es complicada, pero no se incluye para evitar que esta sección se prolongue demasiado. Tomando medidas en la figura se puede comprobar que esas relaciones se satisfacen. Tratándose de un símbolo usado por los pitagóricos, es normal suponer que lo analizaran con detenimiento e intentaran encontrar la medida común entre las longitudes a y b. Usando el método de sustracción mutua y las relaciones antes mencionadas, podemos escribir

$$\begin{aligned}\text{mcd}(a,b) &= \text{mcd}(a,b-a) = \text{mcd}(a,b') = \text{mcd}(a-b',b') \\ &= \text{mcd}(a',b').\end{aligned}$$

Llegamos a que el mcd de a y b es igual al mcd de a' y b', o sea, de las cantidades correspondientes al pentágono dentro de la estrella. Los mismos razonamientos podrían repetirse para obtener $\text{mcd}(a',b') = \text{mcd}(a'',b'')$, siendo a'' y b'' las partes correspondientes al siguiente pentágono más pequeño. Así podríamos seguir indefinidamente, y el método nunca nos daría la medida común de a y b. Por lo tanto, esa medida no existe y a y b son irracionales o, como decían los griegos, *alogos*.

3

TODO FLUYE — NADA FLUYE

Heráclito

Heráclito de Éfeso (c. 535 - c. 475 a. C.), "el Oscuro", el filósofo que llora, es un caso especial en la historia de la ciencia y la filosofía por sus ideas abstractas, por la imagen negativa de su personalidad y por su terrible final. Aparece como un continuador de la escuela de Mileto, iniciada por Tales, al proponer una descripción del cosmos basada en un elemento: el fuego. Pero las ideas de Heráclito tienen características que lo diferencian de los seguidores de Tales. Su propuesta del fuego como principio natural debe entenderse más en sentido metafórico que literal. El fuego es la fuente de todas las cosas. Existe un continuo intercambio de materia de modo que, en parte, el fuego se transforma en agua y tierra, y viceversa:

> Hay intercambio: todas las cosas por fuego y fuego por todas las cosas, como bienes por oro y oro por bienes.

Las cantidades relativas de las tres formas principales, fuego, agua y tierra, se mantienen fijas. Este balance permanente es un indicio del principio de conservación de la materia, propuesto por Lavoisier mucho después, en el siglo XVIII.

Aquellos que se paran en el mismo río tienen diferentes aguas siempre fluyendo sobre ellos.

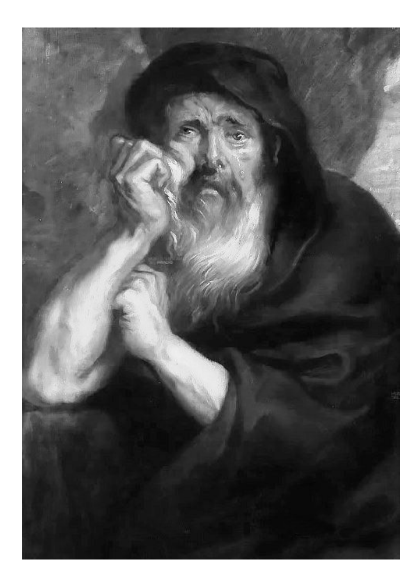


Fig. 3.1. Heráclito, retrato imaginario de P. Rubens, 1603, en el que se reproduce la imagen tradicional del filósofo lloroso y con ropas oscuras.

El fuego es materia, y también un símbolo de inestabilidad, de cambio incesante. Se atribuye a Heráclito la idea de que lo único que perdura en el universo es el cambio. Dijo:

> Aquellos que se paran en el mismo río tienen diferentes aguas siempre fluyendo sobre ellos.

Un siglo después, Platón simplificó este fragmento en la versión más difundida: "no se puede entrar dos veces en el mismo río", pues el río no es el mismo y nosotros no somos los mismos, enfatizando el cambio permanente. La consecuencia es que el conocimiento se hace imposible, pues cuando uno cree saber algo enseguida queda desactualizado por el constante cambio. Así pensaba Cratilo, filósofo de la escuela de Heráclito, citado por

Airstóteles:

> Cratilo (...) llegaba hasta creer que no es preciso decir nada. Se contentaba con mover un dedo y consideraba como reo de un crimen a Heráclito, por haber dicho que no se pasa dos veces un mismo río; en su opinión no se pasa ni una sola vez.

Pero la versión original de Heráclito, si se la entiende en el contexto de su obra, dice más. Habla del flujo de la materia y también de la presencia de regularidad y constancia en el mundo al hablar de "el mismo río". Decía que todo surge de la unidad y el conflicto de opuestos, en este caso, la permanencia y el cambio. También dijo, para agregar más confusión:

> En el mismo río, nos paramos y no nos paramos, somos y no somos.

La dificultad en la interpretación de las palabras de Heráclito dio origen a su epíteto "el Oscuro".

Sus opiniones sobre filósofos, poetas o conciudadanos no ayudaron a que se ganara amistades. Como se mencionó antes, consideraba que Pitágoras era el jefe de los charlatanes y que su doctrina era un arte fraudulento. Decía de Homero que debía ser abofeteado y echado de los certámenes de poesía. Debido a un problema que hubo entre los representantes de la ciudad y un amigo suyo, decía que "todos los efesios adultos deberían colgarse, y dejar la ciudad a los imberbes". Cuando le pidieron que participara en el dictado de leyes, se fue a jugar con tabas, o astrágalos, con unos niños diciendo a los ciudadanos que eso era mejor que gobernar con ellos.

Logró fama de arrogante y misántropo, quizá exagerada por biógrafos de siglos posteriores que no lo favorecieron. Diógenes Laercio cuenta que "finalmente, fastidiado de los hombres, se retiró a los montes y vivió manteniéndose de hierbas".

La fama de llorón tiene su origen en una broma de Platón. La interpretación de Platón de la filosofía de Heráclito se



Fig. 3.2. Heráclito jugando con tabas con unos niños, junto al templo de Artemisa. A la derecha están los ciudadanos de Éfeso, consternados, pues le habían pedido su participación en el dictado de leyes. Les dijo: "¿Qué os admiráis, perversos?, ¿no es mejor hacer esto que gobernar la república con vosotros?". Ilustración de 1598.

resumía a "todo fluye". Comparaba a los seguidores de Heráclito con personas con catarro, en las que la mucosa y las lágrimas fluyen. La imagen de Heráclito como el filósofo que fluye, que llora, se transformó en un exitoso arquetipo, opuesto al del filósofo risueño Demócrito.

El final de Heráclito es quizá también el producto de una tradición posterior a su época. La mala dieta de hierbas, apartado en los montes, produjo en Heráclito una hidropesía (retención de agua en los tejidos), la peor de las enfermedades para alguien que pensaba que un alma seca es la mejor y más sabia. El tratamiento elegido por Heráclito fue cubrir su cuerpo con estiércol y echarse al sol para que el calor generado de esta manera

lo librase de su exceso de agua. La receta no era inusual por entonces para distintas dolencias. Pero no dio resultado. Heráclito murió al día siguiente y, según una versión, fue luego devorado por perros. Tenía 60 años.

Se le atribuye la siguiente frase, en la que expresa tanto búsqueda de reconocimiento de los hombres como desprecio por la mayoría:

> Los mejores elijen una sola cosa en lugar de todo lo que existe: fama eterna entre los mortales. La mayoría, sin embargo, están satisfechos como bestias.

Gracias a sus ideas y, quizá también, a las historias que se crearon acerca de su vida, su mayor ambición se ha cumplido. Luego de 2500 años sus frases siguen siendo recordadas; su nombre no ha sido olvidado.

Las ideas de Parménides (fl. 490 - 450 a. C.) se opusieron, en algunos aspectos, a las de Heráclito. Se supone que se dirigía a los seguidores de Heráclito cuando escribió:

> muchedumbre de insensatos, para quienes el ser y el no-ser les parecen lo mismo y no lo mismo, y el camino de todas las cosas se halla en direcciones opuestas.

La posición de Parménides era que lo que sea que constituye la naturaleza de la realidad, siempre ha sido, dado que nada puede crearse de la nada. Y lo que es, tampoco puede dejar de ser. Este argumento lo condujo a una concepción estática de la realidad: nada fluye. El desafío que dejó Parménides a los pensadores que lo sucedieron, como Anaxágoras y Empédocles, fue explicar los cambios aparentes que se observan en la naturaleza manteniendo su esencia inmutable.

Zenón

Bertrand Russell introduce a Zenón de Elea (c. 490 - 430 a. C.) en su clásico *Principios de la matemática* con las siguientes palabras:

> En este mundo caprichoso, nada es más caprichoso que la fama póstuma. Una de las víctimas más notables de la falta de juicio de la posteridad es Zenón de Elea. Habiendo inventado cuatro argumentos, todos inconmensurablemente sutiles y profundos, el grueso de las filósofos posteriores lo declararon como un mero ilusionista ingenioso, y todos y cada uno de sus argumentos como sofismas.

Russell otorga a las paradojas de Zenón una relevancia que sus predecesores le negaron, pero, como sus predecesores, también las refuta. La necesidad de refutarlo está en que Zenón niega, nada menos, la posibilidad del movimiento. Si aceptamos que nuestras percepciones, al menos muchas de ellas, están sostenidas y originadas en un mundo real, que lo que observamos no es mera ilusión, entonces el movimiento existe y los argumentos de Zenón tienen que tener una falla. Si, en cambio, creemos que lo único real son nuestras ideas y que nuestras percepciones son ilusorias, entonces no hay contradicción entre las afirmaciones de Zenón y la observación del movimiento. Zenón está en el origen de la distinción entre las posturas filosóficas realista e idealista, en el sentido básico y sin matices de las frases anteriores.

Uno de los primeros en considerar los argumentos de Zenón como sofismas, o argucias falaces, fue Aristóteles. Para él, Zenón era un polemista, discutidor y traficante de paradojas que, sin embargo, proponía argumentos lo suficientemente sofisticados como para prestarles atención. Lo consideraba el inventor de la dialéctica, el arte de la conversación y la argumentación lógica. Zenón era un maestro en el uso de la contradicción.

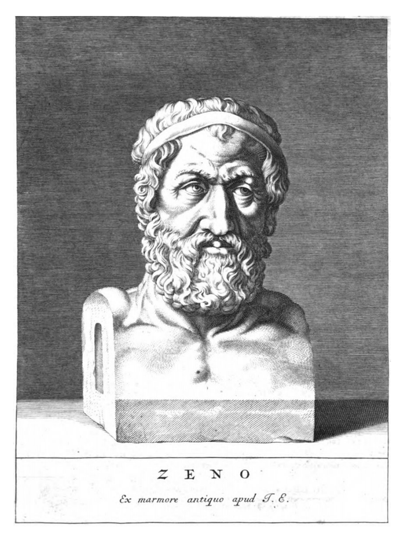
Platón se refería a Zenón como Palámedes de Elea, y en uno de sus diálogos se afirma:

> ¿No sabemos que el Palámedes de Elea hablaba con tanto arte, que presentaba a sus oyentes las mismas cosas semejantes y desemejantes, simples y múltiples, en reposo y en movimiento?

Fue discípulo de Parménides, de quien aprendió que el mundo, además de estar estático, es *Uno*, continuo y homogéneo, o sea, lo que es no tiene grados de existencia. Escribió un texto defendiendo las ideas de su maestro. Por lo que cuenta Platón, la motivación de Zenón fue devolver los ataques recibidos; Zenón dice:

> Es perfectamente verdadero que este escrito ha sido compuesto para apoyar a Parménides contra los que intentaban ponerle en ridículo, diciendo, que si todo es uno, resultan de aquí mil consecuencias absurdas y contradictorias. Mi libro es una réplica a la acusación de los partidarios de la pluralidad. Les devuelvo sus argumentos, y en mayor número; como que el objeto de mi libro es demostrar que la hipótesis de la pluralidad es mucho más ridícula que la de la unidad, para quien ve con claridad las cosas.

El texto de Platón indica que Zenón escribió su libro durante su juventud, con espíritu beligerante y amor a la gloria. El Zenón más maduro aparece algo avergonzado de sus excesos de juventud. El objetivo fue quizá apoyar a Parménides, pero las consecuencias llegaron más lejos, hasta plantear cuestiones difíciles y profundas relacionadas con los fundamentos del espacio, el tiempo y el movimiento. El texto de Zenón se ha perdido, pero se conocen algunos de sus argumentos a través de referencias de otros autores. Las paradojas de Zenón buscan demostrar, a través del absurdo, que la creencia en el cambio y la pluralidad es errónea, y que el movimiento es una ilusión. Solo se analizará una, la más conocida, con algún detalle. Me refiero a la paradoja



El objeto de mi libro es demostrar que la hipótesis de la pluralidad es mucho más ridícula que la de la unidad.

Fig. 3.3. Retrato imaginario de Zenón, de fines del siglo XVII.

de Aquiles y la tortuga, que Aristóteles presenta de la siguiente manera:

> el corredor más lento nunca podrá ser alcanzado por el más veloz, pues el perseguidor tendría que llegar primero al punto desde donde partió el perseguido, de tal manera que el corredor más lento mantendrá siempre la delantera.

La hipótesis es que Aquiles corre más rápido que la tortuga. De acuerdo con la idea usual de movimiento, Aquiles alcanza a la tortuga y la pasa. Pero, de acuerdo con el argumento de Zenón, eso no puede suceder. Zenón usa esta reducción al absurdo para afirmar que el movimiento es una ilusión.

Supongamos que Aquiles corre diez veces más rápido que la tortuga, y que le da 9 metros de ventaja iniciales. Cuando Aquiles recorre esa distancia, la tortuga se movió 0,9 m. Aquiles

recorre 0,9 m; la tortuga se adelanta 0,09 m. Así hasta el infinito. Cada vez que Aquiles recorre la ventaja que tiene la tortuga, ésta se adelanta un poco. Nunca la alcanza. Las distancias que recorre Aquiles en cada paso son 9 m, 9,9 m, 9,99 m, ..., pero nunca llega a 10 m, que sería el punto en el que, al fin, Aquiles y la tortuga tienen la misma posición.

Hay distintas interpretaciones del significado de la paradoja, cada una con distintas refutaciones asociadas.

Dicen que cuando Diógenes de Sinope escuchó el argumento de Zenón, su respuesta fue ponerse de pie en silencio y caminar. No hubiera impresionado mucho a Zenón, para quien a veces las cosas no eran lo que parecían. Aunque uno tome una postura realista como la de Diógenes, todavía es necesario entender dónde está la falla de la paradoja para poder tener una descripción coherente del movimiento.

Según una interpretación, Aquiles no alcanza a la tortuga porque debe realizar un número infinito de pasos, y eso requiere un tiempo infinito. La refutación es que la suma de los intervalos de tiempo que corresponden a cada paso, a pesar de tener infinitos términos, da un resultado finito. Supongamos que Aquiles corre a 10 m/s. El primer tramo, de 9 m, le lleva 0,9 segundos, el siguiente, de 0,9 m, 0,09 segundos, etc. El tiempo que le lleva toda la secuencia es

$$0{,}9 + 0{,}09 + 0{,}009 + \ldots = 0{,}999\ldots = 1 \text{ segundo.}$$

El último paso no es una aproximación; es matemáticamente correcto igualar un cero seguido de infinitos nueves con 1; esa serie infinita de nueves está representada, por falta de espacio, con los puntos suspensivos. La suma tiene infinitos términos, y el resultado final es 1 segundo. Luego de ese tiempo, Aquiles pasa, no sin cierto alivio, a la tortuga. Pero no debe relajarse, pues todavía algunos afirman que así no se resuelve el problema. La secuencia infinita de intervalos no tiene un elemento final definido. Aquiles no podría llegar al final no porque le lleve un tiempo infinito,

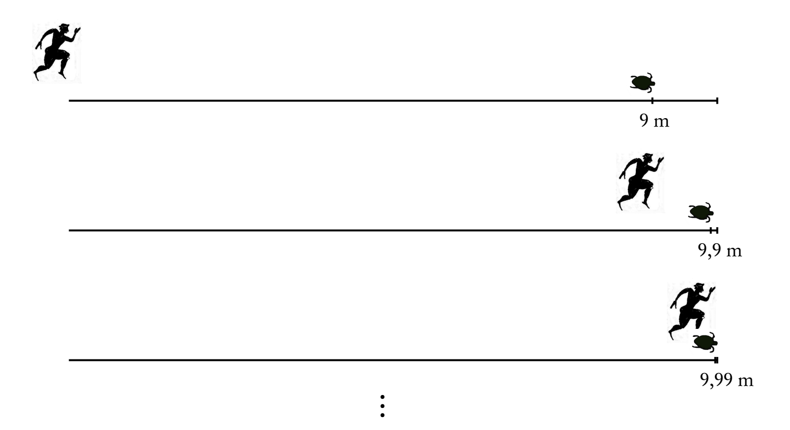


Fig. 3.4. Esquema de la carrera de Aquiles y la tortuga. Se muestran los tres primeros pasos de la secuencia. En la posición inicial, la tortuga tiene una ventaja de 9 m. Cada vez que Aquiles recorre la ventaja, la tortuga se adelanta un poco.

sino porque no existe un elemento último que termine la serie. La objeción parte de la hipótesis de sentido común de que, para terminar una secuencia de eventos, tiene que haber un evento último y, para empezarla, debe haber uno primero. La respuesta a esta objeción sería que la hipótesis es válida para cualquier secuencia finita de eventos, pero no tiene por qué serlo para una infinita.

El problema no termina aquí. Russell encontró aspectos más sutiles y complejos. Consideremos el camino de 10 m recorrido por Aquiles durante 1 segundo. Durante ese tiempo la tortuga recorre 1 m. El recorrido de la tortuga es una parte del de Aquiles. Según Russell, Zenón usa la hipótesis de sentido común de que una parte debe tener menos elementos que el todo. Los elementos que forman el camino son puntos. Si Aquiles pudiera alcanzar a la tortuga, sería posible observar una relación

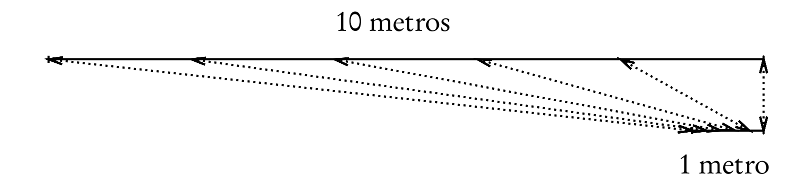


Fig. 3.5. La paradoja de Aquiles y la tortuga, según Russell. Durante el primer segundo Aquiles recorre 10 m y la tortuga 1 m. Para cada instante hay una relación uno a uno entre la posición de Aquiles y la de la tortuga; los trazos punteados indican algunas de estas relaciones. Por lo tanto, existe la misma cantidad de puntos en 10 m que en 1 m. Pero la parte (1 m) debe tener menos elementos que el todo (10 m), entonces el movimiento no existe.

uno a uno entre los puntos de la parte y del todo; en cada instante, el punto en el que se encuentra Aquiles se corresponde con otro en el que está la tortuga. Y esto es absurdo, pues significa que la parte y el todo tienen la misma cantidad de elementos, o puntos. Russell llama a este absurdo la paradoja de Cantor (1845 - 1918), el matemático alemán famoso por su teoría de conjuntos y por el estudio de los números que llamaba transfinitos, por no llamarlos infinitos. Las opciones que tenemos son las siguientes. La de Zenón: el todo tiene más elementos que la parte, y el movimiento no existe. La de Cantor: el todo puede tener la misma cantidad de elementos que la parte, y el movimiento sí existe. Las dos opciones tienen algo de absurdo. Russell dice

> El sentido común, por lo tanto, está aquí en una situación muy triste y difícil; debe escoger entre la paradoja de Zenón y la paradoja de Cantor. No me propongo ayudarlo, ya que considero que, de cara a las pruebas, debería suicidarse en la desesperación.

Russell no tiene dudas acerca del camino que se debe elegir: el de Cantor. El axioma de que el todo tiene más elementos que la parte es muy agradable al sentido común, y funciona bien para conjuntos finitos. Pero los conjuntos infinitos no tienen por qué comportarse de acuerdo con el sentido común o con la intuición. El método de correspondencia uno a uno, usado por Cantor, sirve para afirmar que una distancia de 1 metro y otra de 10 metros tienen la misma cantidad de puntos, y para afirmar cosas aún más extrañas de las que no se hablará aquí. Salvamos, entonces, la coherencia lógica de la existencia del movimiento en un espacio continuo. El costo ha sido aceptar la paradoja de Cantor. No es algo que los matemáticos lamenten. Hilbert, otro matemático famoso, decía que "nadie nos podrá expulsar del paraíso que Cantor ha creado".

El problema, sin embargo, tampoco termina aquí. Aquiles parece condenado para siempre a la incertidumbre de no saber si podrá ganarle a la tortuga. La base del método científico es la observación experimental. Nadie niega la evidencia experimental a favor de la existencia del movimiento. Además, hoy disponemos para el movimiento de una descripción matemática coherente y que funciona, o sea, que representa correctamente las observaciones. Sin embargo, algunos sienten que una respuesta satisfactoria a los argumentos de Zenón requiere de un conocimiento del espacio y del tiempo que aún no poseemos. Casi todas las teorías físicas consideran espacio y tiempo continuos, es decir, infinitamente divisibles. Es una hipótesis que funciona bien, pero que no está probada. Se especula que, a escalas más pequeñas de lo imaginable, mucho más pequeñas para un átomo de lo que es un átomo para nosotros, la división del espacio ya no tendría sentido, pues daría lugar a porciones de espacio indistinguibles entre sí. No es posible en la actualidad realizar una medición a esa escala, conocida como escala de Planck, y Zenón seguirá, quizá por mucho tiempo, sin recibir una respuesta completa.

La vigencia de Zenón se manifiesta en un trabajo de Misra y Sudarshan (1977) titulado *La paradoja de Zenón en la teoría cuántica*. No se trata de negar el cambio en mecánica cuántica, sino de frenarlo, o detenerlo por completo, cuando el sistema bajo estudio es observado en forma continua. El sistema puede ser, por ejemplo, un átomo en un estado excitado, o sea, con un electrón con más energía de lo normal. Luego de un tiempo conocido, el electrón vuelve a su estado normal. Pero si se realizan mediciones del estado en forma repetida y a una frecuencia grande, ese retorno se frena. Este resultado recibe el nombre de efecto Zenón cuántico, aunque no tiene nada de paradójico y se trata solo de una reminiscencia de la negación del cambio de Zenón.

Borges se refiere a la paradoja de Aquiles y la tortuga en un texto que termina con un dejo idealista:

> Nosotros (la indivisa divinidad que opera en nosotros) hemos soñado el mundo. Lo hemos soñado resistente, misterioso, visible, ubicuo en el espacio y firme en el tiempo; pero hemos consentido en su arquitectura tenues y eternos intersticios de sinrazón para saber que es falso.

Uno de esos intersticios sería la paradoja de Zenón. La película de ciencia ficción *Inception* (2010) presenta el mundo ilusorio de nuestros sueños, que se vive como real, también con intersticios de sinrazón que delatan su falsedad; un ejemplo es un trompo que gira y nunca cae. Más que intersticios, el universo tiene, en realidad, grandes agujeros de sinrazón, y que exista o que se comporte de acuerdo con reglas no son los menores. Estos agujeros pueden ser un indicio de falsedad, pero no una prueba. Son, más bien, una prueba de nuestra incapacidad para alcanzar la comprensión total.

Veinte años después, Borges parece acercarse a una postura más realista al hablar sobre las refutaciones del tiempo.

> Negar la sucesión temporal, negar el yo, negar el universo astronómico, son desesperaciones aparentes y consuelos secretos. Nuestro destino (...) no es espantoso por irreal; es espantoso porque es irreversible y de hierro. (...) El mundo, desgraciadamente, es real; yo, desgraciadamente, soy Borges.

Borges dice que el mundo es real, no un sueño con intersticios de sinrazón. Antes se preguntaba, con respecto a la paradoja: “¿Es un legítimo instrumento de indagación o apenas una mala costumbre?”. Quizá, después de todo, no sea más que una mala costumbre. Una que dura milenios.

El relato de Diógenes Laercio sobre el final de Zenón es uno de las más inverosímiles que figuran en su libro. Zenón se involucró con un grupo que buscaba liberar Elea de un tirano llamado Nearco o Diomedonte o, según Plutarco, Demylus. El plan fracasó. Zenón fue capturado y torturado para que revelara los nombres de sus cómplices. Se mantuvo firme y, para no caer en la delación, cortó su lengua con sus dientes y la escupió al tirano. Otra versión dice que lo hizo acercarse con intención de decirle algo en voz baja, y lo atacó a mordiscos sacándole una oreja o la nariz. Murió machacado en un mortero. Según otra versión, arengó a los presentes diciendo: “Estoy admirado de vuestra cobardía, pues por miedo de lo que yo padezco sois esclavos de un tirano”. Los ciudadanos reaccionaron matando al tirano a pedradas.

Anaxarco (c. 380 - c. 320 a. C.) fue un seguidor del atomismo y de las tendencias escépticas de Demócrito, del que se hablará en el capítulo 5. Tiene cierta relación con Zenón, al menos en lo que se refiere a su final. Era natural de Abdera, como Demócrito, y estuvo con Alejandro Magno durante sus campañas. Expresó escepticismo sobre la supuesta naturaleza divina de Alejandro, una vez que fue herido, al decir “Esto es sangre, y no



Fig. 3.6. Final de Anaxarco, según una ilustración de 1598. La misma escena podría estar representando a Zenón de Elea. Dicen que, durante el suplicio, Anaxarco permaneció sereno y pronunció su frase célebre: "Machaca el cuero que contiene a Anaxarco, pero a Anaxarco no lo machacas".

el licor que fluye por las venas de los dioses". Anaxarco y Nicocreón, tirano de Chipre, se enemistaron durante una comida en la que se encontraba Alejandro. Es que Anaxarco no tuvo mejor idea que decir, mientras miraba fijo a Nicocreón, que el banquete estaba magnífico, y solo faltaba servir la cabeza de cierto sátrapa. Nicocreón no olvidó las ofensas y, tiempo después, cuando Anaxarco pasó por su ciudad, lo apresó y lo mandó matar machacándolo en un mortero. Se trata del mismo final que se atribuye a Zenón, incluyendo también el corte de lengua y su escupida al tirano. En algún momento de la Antigüedad, a alguien se le traspapelaron los papiros y asignó la misma muerte a personajes diferentes.

4

RESPUESTAS A PARMÉNIDES

Anaxágoras y Empédocles utilizaron sus ideas sobre la naturaleza de la materia para contestar de manera similar al desafío de Parménides, o sea, para intentar comprender cómo era posible la observación del cambio manteniendo la esencia del universo inmutable. Se diferenciaron en otro aspecto. Siguiendo la tradición iniciada por Tales, Anaxágoras buscó una explicación del mundo en la que los dioses estuvieran ausentes. Empédocles, en cambio, decía que él mismo era un dios.

Anaxágoras

Anaxágoras (c. 500 - 428 a. C.) decía que el Sol y la Luna no son dioses. El Sol y las estrellas eran rocas incandescentes, y la Luna reflejaba la luz del Sol. Luciano de Samosata, escritor del siglo II, usó la sátira para criticar distintas escuelas filosóficas. Se refiere a las ideas de Anaxágoras en el *Icaromenipo*. El protagonista, Menipo, llega hasta la Luna volando como Ícaro. Allí se encuentra con la diosa Luna, que se queja con amargura de los filósofos:

> Has de saber, Menipo, que me tienen sobradamente fatigada las opiniones insufribles de estos filósofos (...) y la ofensa que sobre todas siento, es saber que muchos de ellos han dicho que soy ladrona públi-

> ca, que mi luz no es mía, y que esta lumbre con que ahora me ves, es adulterina y falsa, hurtados y ajenos mis esplendores, porque se los quito al Sol para adornar mi hermosura. ¿Qué te parece este atrevimiento? (...) Y no pienses que a mí se atreven solo, que también han dicho del Sol mi hermano, unos que es una piedra, otros que una masa transparente, y muchos mayores disparates.

Según Anaxágoras, el cosmos está controlado por un concepto abstracto que llamaba *nous*, y que significa "mente" o "inteligencia". El nous pone en movimiento de rotación el conjunto de componentes o ingredientes del universo, "y el nous también ordena esta revolución, en la que las cosas que se separan ahora giran, las estrellas y el Sol y la Luna y el aire y el éter". Anaxágoras recurría con frecuencia al concepto de nous en sus explicaciones. Según Diógenes Laercio, lo llamaban "el señor Nous". El nous es un concepto similar, en algunos aspectos, al motor primero de Aristóteles. Como el motor primero, también es posible identificarlo con una divinidad. Pero la intención de Anaxágoras era proponer una filosofía por completo naturalista. El nous era un principio gobernante racional que debía permanecer libre de características míticas o teológicas. Aristóteles reconoce que la obra de Anaxágoras "no carece de sentido ni de originalidad", pero también lo critica con respecto al uso del concepto de nous:

> Anaxágoras se sirve del nous como de una máquina, para la formación del mundo; y cuando se ve en dificultades para explicar por qué causa es necesario esto o aquello, entonces presenta al nous en escena; pero en todos los demás casos a otra causa, en lugar de al nous, es a la que atribuye la producción de los fenómenos.

En cualquier caso, la cantidad de elementos sobrenaturales en las explicaciones de Anaxágoras se redujo con respecto

El Sol no es un dios, sino una roca incandescente.

Fig. 4.1. Anaxágoras, retrato imaginario de E. Lebiedzki, c. 1888.

a las anteriores. Fue acusado de impío por afirmar que el Sol no es un dios y se le inició un juicio.

Pericles, el líder político de Atenas durante su siglo de oro, era amigo de Anaxágoras y había sido su alumno. Pericles tenía una retórica carismática que desplegaba exhibiendo calma y autocontrol. Este comportamiento ha sido considerado, en parte, producto de las enseñanzas de Anaxágoras, que enfatizaba la calma emocional y el escepticismo ante lo sobrenatural.

Antes de zarpar en una campaña naval contra los espartanos, un eclipse de Sol aterrorizó a los soldados. Pericles logró calmarlos utilizando los conocimientos astronómicos que había adquirido de Anaxágoras. Según Plutarco,

> [Gracias a su conexión con Anaxágoras] parece que

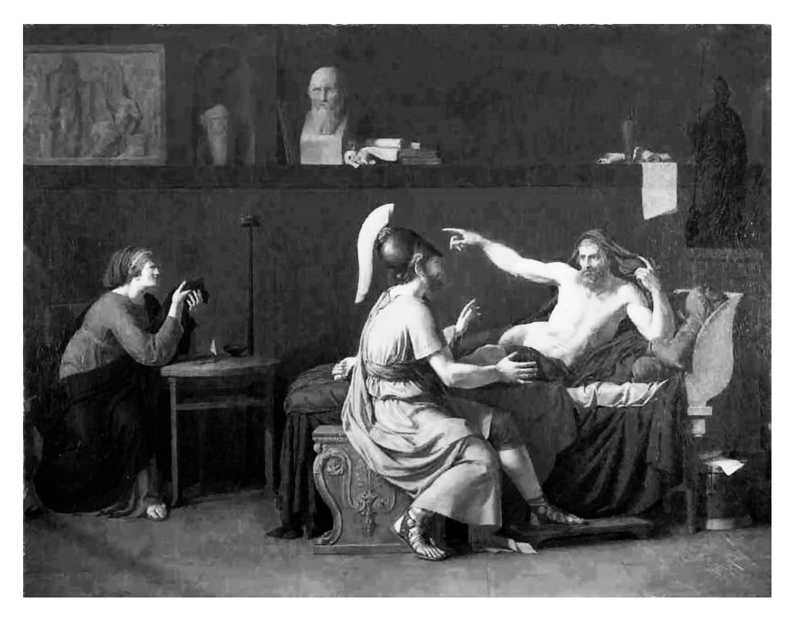


Fig. 4.2. *Anaxágoras y Pericles*, óleo de 1796, de A.-L. Belle. Ilustra una historia relatada por Plutarco, y que se supone apócrifa. Anaxágoras, ya mayor, se halló desamparado y pasando penurias. Se cubrió el rostro y decidió morir de hambre. Pericles fue a verlo y le rogó que viviera, pues no podía perder tan valioso consejero. Anaxágoras se descubrió el rostro y dijo: "¡Ah, Pericles!, aquellos que necesitan una lámpara se cuidan de proveerle aceite". La mujer a la izquierda, retorciéndose la ropa, ha sido incluida para el equilibrio de la composición y es, quizá, una alegoría de la pobreza.

> Pericles se elevó por encima de la superstición, esa actitud de pasmo ante los fenómenos celestes que se produce en aquellos que ignoran las causas de las cosas y que enloquecen por la divinidad y las intervenciones divinas debido a su inexperiencia en estas áreas.

Durante el juicio por impiedad, Anaxágoras fue condenado a muerte. Cuando se le comunicó la decisión, comentó con serenidad: "La naturaleza, mucho tiempo atrás, pronunció la misma sentencia contra mí". Se supone que los motivos del juicio no fueron solo religiosos sino también políticos. Atacar a Anaxágoras fue una manera de atacar a Pericles. Diógenes Laercio cuenta que Pericles hizo un discurso en defensa de Anaxágoras. Finalmente, la condena se transformó en multa y exilio.

Podemos imaginar a Anaxágoras alejándose de Atenas para siempre. Quizá volvió un momento la cabeza y alcanzó a ver, sobre la Acrópolis, los magníficos edificios. Vio, por última vez, el grandioso Partenón, que había sido terminado hacía pocos años. Cuando un amigo le dio sus condolencias, dicen que dijo, quizá murmurando con amargura: "yo no he perdido a los atenienses, los atenienses me han perdido a mí".

Diógenes Laercio le escribió un epitafio:

> Que el Sol es masa ardiente
> Anaxágoras dijo; y por lo mismo
> fue a muerte condenado.
> Librólo su discípulo Pericles:
> pero él entre eruditas languideces,
> sabe dejar la vida voluntario.

Diógenes Laercio se refiere a una versión según la cual Anaxágoras no soporta la injusticia que se cometió contra él en Atenas y se deja morir. Una actitud similar había tenido cuando, encontrándose en la miseria, había decidido morir de hambre, anécdota que se ilustra en la figura 4.2. Luego de su exilio, Anaxágoras

fue a Lampsaco. Cuando los magistrados le preguntaron si quería alguna cosa, dicen que respondió que cada año en el mes de su muerte los niños fueran liberados de sus obligaciones y se les permitiera jugar. Costumbre que se conservó, al menos, hasta la época de Diógenes Laercio (siglo III).

La respuesta de Anaxágoras al problema de Parménides, de la que aún no se ha hablado, se comenta junto a la de Empédocles en la sección siguiente.

Empédocles

Empédocles (c. 495 - c. 435 a. C.) nació y vivió en la Magna Grecia, región del sur de Italia ocupada por colonias griegas a la que también pertenecían Hipaso, Pitágoras, Zenón y Arquímedes. Su ciudad natal fue Acragas (hoy Agrigento), en Sicilia.

Empédocles tenía una personalidad algo extravagante que se manifestaba, entre otras cosas, por la forma de vestir. Dicen que usaba un manto púrpura ceñido con una cinta dorada, una corona de laurel de Delfos y sandalias de bronce. Pertenecía a una familia ilustre y ocupó posiciones políticas importantes. Su aspecto grave y aristocrático contrastaba con su postura política pro-democrática.

Con respecto a sus contribuciones a la ciencia, propuso una teoría que resultó un gran éxito si se tiene en cuenta el tiempo que estuvo vigente. Luego de muchos siglos, los alquimistas del Renacimiento la seguían utilizando. Se trata de las cuatro raíces: tierra, agua, aire y fuego. El término "elemento", en lugar de "raíz", es posterior a su época, y parece que el primero en usarlo fue Platón. Los cuatro elementos son los constituyentes o raíces de todo objeto material. Son indestructibles e inmutables. Las raíces se mezclan en distintas proporciones para formar las cosas que suponemos reales, como una manzana. Empédocles compara a la naturaleza, que con cuatro elementos crea el mundo, con un pintor que, con unos pocos colores, reproduce lo que ve:

Cuatro son las raíces de todas las cosas: fuego, aire, agua y tierra.



Fig. 4.3. Empédocles, retrato imaginario del siglo XVIII.

> Como cuando los pintores decoran ofrendas, hombres bien entrenados por la sabiduría en su oficio, que cuando toman pigmentos coloridos con sus manos, mezclándolos en armonía, algunos más, otros menos, de ellos crean formas parecidas a todas las cosas, haciendo árboles y hombres y mujeres, bestias y aves y peces del agua alimentados, e incluso dioses de larga vida, los más altos en honor.

Al observar, por ejemplo, que una manzana se disuelve, no se debe concluir que deja de ser o que pasa a la inexistencia. Lo que sucede es que la mezcla que formaba la manzana ha sido reacomodada. Las cosas no dejan de ser, solo cambian las mezclas de las raíces. De esta forma resuelve al problema de la inmutabili-

dad del mundo planteado por Parménides; al respecto dice

> no hay nacimiento de ninguna de todas las cosas mortales, tampoco un final de la muerte destructora, solo existe mezcla y separación de cosas mezcladas, y "nacimiento" es un término aplicado a ellas por los hombres.
> ¡Tontos! Pues sus pensamientos no son de largo alcance; esperan que lo que no era antes torne a ser o que algo muera y perezca por completo.

Anaxágoras no estaba del todo de acuerdo con las cuatro raíces. Decía que Empédocles era arbitrario al seleccionar algunas sustancias como primarias y otras como secundarias cuando, según nuestros sentidos, todas estaban en la misma categoría. Decía que todas las infinitas posibles sustancias son tan reales como las raíces de Empédocles. El razonamiento de Anaxágoras para responder al desafío de Parménides es similar al de Empédocles, con la diferencia de que, en lugar de cuatro elementos, tenemos infinitos. Decía que "hay una porción de todo en todo".

Las ideas de Empédocles tuvieron mejor aceptación que las de Anaxágoras, posiblemente por ser más simples. La idea de que los elementos son indestructibles e inmutables adelanta el principio de conservación de masa, como sucedió también con la propuesta de Heráclito mencionada antes. También se han identificado los elementos con los cuatro estados de la materia: sólido, líquido, gas y plasma, aunque el fuego, en realidad, es un gas incandescente que puede contener solo una porción pequeña de plasma. Según Empédocles, la mezcla de los elementos está gobernada por una eterna batalla de supremacía entre dos fuerzas cósmicas llamadas Amor y Discordia. En la actualidad se utiliza un concepto que recuerda estas fuerzas cósmicas: la afinidad, que indica la tendencia de compuestos químicos a combinarse a través de una reacción.

Además de pensador influyente en la historia de la ciencia, Empédocles fue, según la tradición, político democrático, sanador, mago y teólogo místico. Para algunos fue un dios viviente, para otros, un fraude.

Diógenes Laercio cita a otros biógrafos para contar la historia de una sanación milagrosa. Una mujer de Acragas llamada Pantheia se hallaba muy enferma. Los médicos aplicaron todos sus conocimientos, pero sus esfuerzos fueron en vano y finalmente se dieron por vencidos. La mujer permaneció durante treinta días sin pulso y sin aliento. Entonces apareció Empédocles y la revivió de forma milagrosa. Con respecto al acto de resucitación, Empédocles es citado por Sátiro diciendo

> Enfrenarás la furia de los vientos
> inquietos y perennes;
> los que excitados con sus soplos
> sobre la madre tierra, la devastan,
> y destruyen del campo las labores.
> Si acaso se aplacaran,
> harás que se levanten nuevamente.
> (...)
> Finalmente, del Hades a nueva vida
> las almas sacarás de los difuntos.

El dominio del viento está relacionado con la resucitación, que equivale a la restitución del aliento. Pero la perspectiva de Sátiro no es favorable, pues se refiere a Empédocles como orador y médico, insinuando que se trata de un charlatán. No habla de curar sino que utiliza un término que significa "encantar, hechizar" o "embaucar".

Empédocles era seguidor de las posturas éticas de Pitágoras. Creía en la transmigración de las almas y, en consecuencia, era vegetariano. Decía ser un *daimon*, un ser sobrenatural entre humano y divino. Había sido desterrado de la presencia de

los dioses inmortales por haber cometido el pecado de comer carne. Debió realizar un viaje de purificación, en una serie de reencarnaciones, atravesando distintos órdenes de la naturaleza y también los distintos elementos del cosmos. Alcanzó, al fin, el estado humano más perfecto; su próxima etapa era renacer como inmortal. Diógenes Laercio le atribuye los siguientes versos:

> Yo, ya Dios inmortal, entre vosotros
> habito venerado dignamente,
> ceñido con diademas y guirnaldas,
> vistosamente verdes y floridas;
> con las cuales andando las ciudades
> florecientes y nobles,
> seré adorado por hombres y mujeres.

Cuando su facción política fue derrotada en unas elecciones, fue desterrado y se dice que terminó sus días exiliado en el Peloponeso. Pero los seres imbuidos de divinidad no terminan sus días de manera prosaica. Un gran número de historias diferentes refieren el final de Empédocles; todas pueden hallarse en el libro de Diógenes Laercio. Los biógrafos de la Antigüedad se han ocupado bastante de este tema, y la motivación general parece haber sido desmentir la naturaleza divina de Empédocles atribuyéndole muertes terrenales. Chitwood (2004) afirma que las distintas versiones son reveladoras, pues se basan en el trabajo del sujeto y también dan indicios de la reacción del biógrafo a ese trabajo. Halló una curiosa correlación entre los cuatro elementos y las versiones del final de Empédocles:

Tierra. Yendo en coche a un festival en Mesina, cayó a tierra y se quebró la cadera. Luego enfermó y murió. Tenía setenta y siete años.

Agua. Siendo ya viejo, cayó al mar y murió ahogado, como Hipaso.

Aire. Luego de la resurrección de la mujer llamada Pantheia, hubo sacrificios y festejos. Al día siguiente, Empédocles ha-

bía desaparecido. Un sirviente contó que, a medianoche, había oído una voz potente que llamaba a Empédocles. Luego había visto una luz en el cielo, y nada más. Empédocles se había desvanecido en el aire. Todos quedaron asombrados. Pausanias, uno de sus discípulos, dijo que debían hacer sacrificios a Empédocles, pues se había transformado en dios. Esta versión es la única que ratifica su divinidad. Otra dice que murió por falta de aire, pues se colgó con una soga al cuello.

Fuego. La historia más difundida, y la más extraña, terrible y espectacular, es la que tiene como escenario el volcán Etna, en Sicilia. El Etna es uno de los pocos volcanes del mundo que tienen actividad casi permanente. Empédocles quiso ocultar su naturaleza mortal. Para aparentar que su cuerpo desaparecía y que, como había anunciado, se transformaba en un dios, se arrojó al cráter del volcán. Otros suponen que realmente creía que, luego de ser devorado por el fuego, volvería como un dios entre los hombres. Pero lo único que volvió del volcán, arrojado quizá por una explosión de lava, fue una de sus sandalias de bronce. Este pequeño despojo fue interpretado como una prueba de que Empédocles era tan mortal como cualquiera.

Matthew Arnold escribió un largo poema, *Empedocles on Etna* (1852), que narra las últimas horas antes del salto mortal. Empédocles dice

> A los elementos de donde vino
> todo retornará.
> Nuestros cuerpos a la tierra,
> nuestra sangre al agua,
> calor al fuego,
> aliento al aire.

Luciano de Samosata (siglo II), en su obra *Icaromenipo*, contribuye a reducir el peso dramático de estas historias con una última versión del final de Empédocles. Menipo llega hasta la Luna, donde tiene lugar su encuentro con Empédocles:

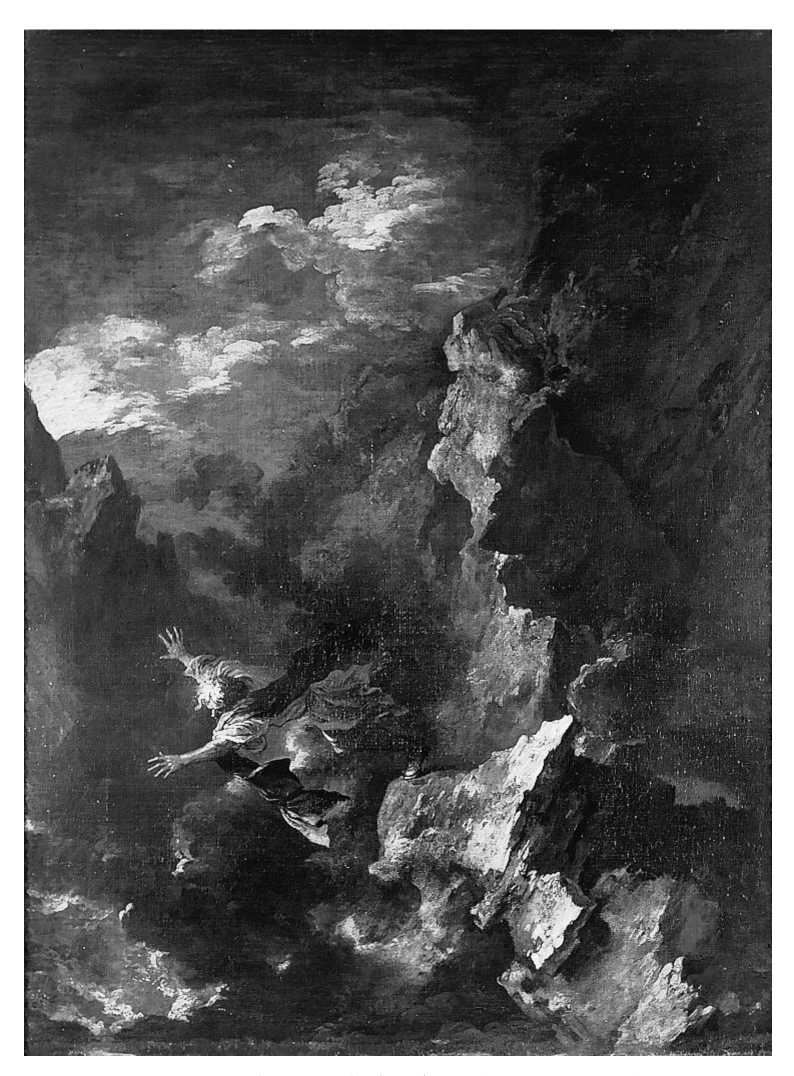


Fig. 4.4. *La muerte de Empédocles*, óleo de S. Rosa, siglo XVII. Empédocles se arroja al cráter del Etna con la intención de alcanzar la inmortalidad.

> se plantó a mi espalda el sabio Empédocles, negro como el carbón, cubierto de ceniza y todo él asado. Yo, al verle —a decir verdad, me asusté un tanto (...). [Dijo:] "Soy el filósofo natural Empédocles. Cuando me arrojé de cabeza al cráter, el humo me arrojó del Etna y me envió aquí, y ahora resido en la Luna, aunque doy frecuentes paseos por los aires y me alimento del rocío".

La enorme influencia de su teoría de las cuatro raíces, su personalidad extravagante y las extrañas versiones sobre su muerte hacen de Empédocles uno de los personajes más llamativos de la ciencia griega.

5

NO HAY MÁS QUE ÁTOMOS Y VACÍO

La respuesta de Empédocles al problema planteado por Parménides permite mantener la inmutabilidad de los elementos, pues solo cambian las mezclas. Pero el problema es, en realidad, más complicado. Parménides condena al mundo a la inmovilidad con sus razonamientos, ni siquiera las mezclas podrían cambiar. El movimiento no sería posible. El vacío no es nada, por lo tanto no es, no existe. No puede formar parte del universo porque el universo está formado por lo que es. Y lo que es, es único, inmutable, indestructible e inengendrado. Al estar el mundo lleno de lo que es, no hay un sitio vacío donde algo pueda moverse. ¿Cómo conciliar estas ideas con la observación de un mundo siempre cambiante? La respuesta de Platón fue que el mundo real es el de las ideas inmutables, lo que percibimos es pura apariencia. Aristóteles no opinaba igual, pero estaba de acuerdo con la inexistencia del vacío: la naturaleza aborrece el vacío, tiene *horror vacui*. Su respuesta fue que, cuando algo cambia, lo que vemos no es en realidad nuevo sino que existía con anterioridad, desde siempre, en la categoría de *potencia*.

Parménides impuso un nivel de complejidad sin precedentes en la metafísica, al que sus sucesores debieron atenerse.

Demócrito

Leucipo (siglo V a. C.), de quien poco se sabe, y su discípulo Demócrito (c. 460 - c. 370 a. C.) propusieron un apartamiento radical con respecto a las ideas de Parménides: el atomismo. Opinaban que no hay contradicción en suponer que una porción del espacio esté vacía. Según Demócrito,

> Los Principios de todas las cosas son los átomos y el vacío, todo lo demás es dudoso y opinable.

Lucrecio (99 - 55 a. C.), en su largo poema *De la naturaleza de las cosas* (*De rerum natura*), dice

> Y sin vacío no tan solamente
> de agitación continua carecieran
> los cuerpos, mas también, ni aun engendrados
> hubieran sido; porque la materia
> quieta se hubiera estado eternamente.

Si un objeto se divide una y otra vez en partes cada vez más pequeñas, se alcanza un punto en que ya no es posible continuar. Se llega a la mínima porción de materia: el átomo, es decir, lo que no puede cortarse. Todo está hecho de átomos, tan pequeños que no pueden ser vistos. Aristóteles, aunque opinaba diferente, hizo una de las mejores descripciones del atomismo clásico que han llegado hasta nosotros. Compara los átomos que forman un objeto con las letras que componen una obra literaria, explicando que un pequeño cambio en la combinación de los mismos elementos puede dar lugar a resultados muy distintos:

> Demócrito y Leucipo (...) explican lo que llega a ser y lo que deja de ser a través de su disociación o asociación (...) Por lo tanto, debido a los cambios del compuesto, la misma cosa parece diferente y contradictoria a diferentes personas: se transmuta por un

> pequeño ingrediente adicional y aparece enteramente diversa por la transposición de un único constituyente. Pues la tragedia y la comedia están ambas compuestas por las mismas letras.

Las propiedades de los objetos, como la textura o la dureza, pueden explicarse en función de las propiedades más fundamentales de los átomos. Por ejemplo, los sólidos están formados por átomos que vibran en torno a posiciones fijas pues se mantienen unidos entre sí por ganchos. El fuego, en cambio, está hecho de átomos esféricos, pues no se adhiere a nada. Los átomos del alma, tan pequeños que pueden recorrer todo el cuerpo, también son esféricos. El atomismo daba una causa a las propiedades de los objetos en función de las propiedades de los átomos. Y para Demócrito era preferible descubrir una causa que conquistar el reino de Persia.

Las explicaciones se complicaban, y empezaban a perder fuerza, al abordar temas como, por ejemplo, los colores o la percepción. No había manera de confirmar la teoría pues las propiedades primarias de los átomos eran inobservables. Además, el atomismo hacía perder la confianza en el conocimiento que pudiera obtenerse a través de los sentidos, que solo pueden informarnos acerca de propiedades secundarias. Estas dificultades llevaron a Demócrito a dudar acerca de la posibilidad de conocimiento:

> No conocemos nada en realidad, pues la verdad yace en un abismo.

Su discípulo, el escéptico Metrodoro de Quíos, fue aún más lejos:

> Ninguno de nosotros sabe nada, ni siquiera si sabemos o no sabemos, ni si saber o no saber existe, ni, en general, si hay algo o no.

No conocemos nada en realidad, pues la verdad yace en un abismo.



Fig. 5.1. *Demócrito, el filósofo risueño*, retrato imaginario de J. Moreelse, c. 1630.

A pesar de estas afirmaciones pesimistas, Demócrito es recordado como "el filósofo risueño"; según Hipólito de Roma (siglo II-III),

> El hombre se reía de todo, pues encontraba razón para reír de todo asunto humano.

Pero esta risa podía tener también un aspecto siniestro y algo de locura. Y crueldad. Una anécdota cuenta que, al ver a Darío, el rey de los persas, desconsolado por la muerte de su bella esposa, le prometió que la volvería a la vida. Un requisito para el ritual de resurrección era que Darío debía conseguir los nombres de tres personas que nunca hubieran estado afligidas por el dolor. Darío se halló perdido, pues lo que pedía era imposible. Demócrito lanzó entonces su terrible risa y dijo: "¿Por qué entonces tú, oh el más extraño de los hombres, lloras sin contenerte como si fueras el único que ha sufrido?".

Hay cierta contradicción entre esta anécdota y algunas enseñanzas de Demócrito en las que manifiesta que la verdadera tranquilidad espiritual lleva a conductas apropiadas. Por ejemplo:

> Uno debe o bien ser bueno, o imitar a un hombre bueno.
> El que agravia es más desafortunado que el agraviado.
> Uno debe emular los hechos y las acciones de la virtud, no las palabras.
> Es mejor examinar las propias faltas que las de los otros.
> El que a nadie ama, creo que por nadie es amado.
> Es más apropiado, dado que somos seres humanos, no reír de las desgracias de otros, sino lamentarse.

Algunas anécdotas presentan a Demócrito como alguien abstraído en sus pensamientos, que buscaba la soledad recorriendo tumbas, que creía ver imágenes que solo estaban en su mente y que reía sin motivo. Según unas cartas de Hipócrates, posiblemente apócrifas, estos síntomas alarmaron a los conciudadanos de Demócrito, que requirieron su presencia para que hiciera un diagnóstico. La visita de Hipócrates a Demócrito, en Abdera, fue la base para una fábula de La Fontaine, *Demócrito y los abderitanos* (1668), en la que los conciudadanos de Demócrito mandan llamar al famoso médico diciéndole

> Que el demasiado aplicarse
> era la causa de que
> Demócrito así se hallase.
> Aún le estimáramos más
> —dijo— si fuese ignorante;
> ha dado en decirnos que
> hay mundos innumerables;
> y aun no contento con esto,
> mil delirios nos añade,
> como átomos invisibles

La moraleja de la fábula es que no siempre debe escucharse el juicio del populacho, o algo similar. Se menciona una idea notable: la posibilidad de "mundos innumerables". Según la teoría de Demócrito, aglomeraciones de átomos que se mueven en el vacío infinito forman mundos, o *kosmoi*, en torno a remolinos. Estos mundos no son permanentes pues, pasado un tiempo, se desintegran. Como dice Epicuro: "no hay cosa que impida la infinidad de mundos". Según Aecio, Metrodoro tenía un buen argumento:

> Para Metrodoro parece absurdo que en un gran campo deba crecer solo un tallo, y que en un espacio infinito exista solo un mundo.

La historia continúa con la llegada de Hipócrates a Abdera. Queda impresionado al encontrar a Demócrito solo, descalzo, sucio y descuidado, y rodeado de animales disecados y desmembrados. Los animales eran, en realidad, objeto de estudio. Luego de un análisis, Hipócrates llega a la conclusión de que los síntomas no provienen de la locura sino del genio. La completa dedicación a la búsqueda de conocimiento apartó a Demócrito de cualquier otro asunto.

En la versión de Diógenes Laercio, del siglo III, la visita de Hipócrates parece ser un encuentro entre amigos. Demócrito aparece como una especie de Sherlock Holmes capaz de realizar deducciones que asombran a todos:

> ...cuando Hipócrates fue a visitarlo, ordenó que trajeran leche y, habiéndola inspeccionado, dijo que era de cabra primeriza y negra, lo que hizo que Hipócrates se maravillara por la precisión de la observación. Además, al estar Hipócrates acompañado por una criada, el primer día Demócrito la saludó así: "Buenos días, doncella;" y el día siguiente: "Buenos días, mujer". De hecho, la muchacha había sido seducida durante la noche.

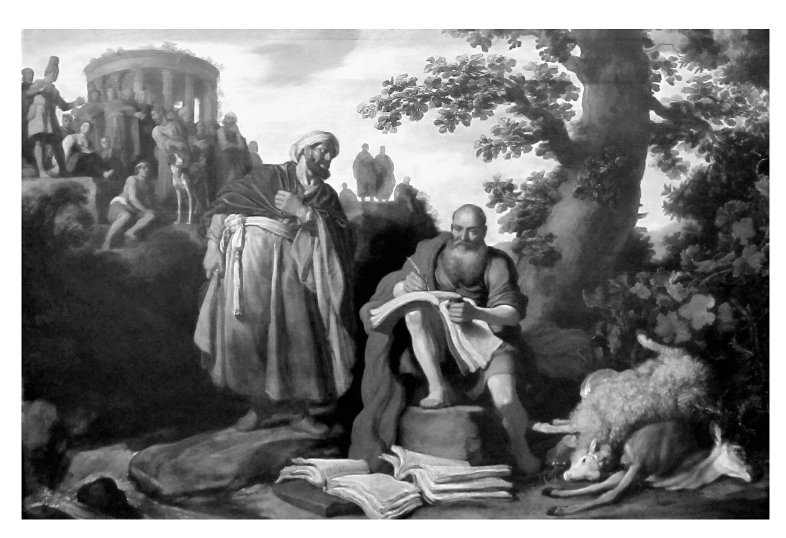


Fig. 5.2. *Hipócrates visita a Demócrito* de P. Lastman, 1622, fragmento. Al fondo se encuentra, expectante, el pueblo de Abdera. El médico Hipócrates observa a Demócrito, que está abstraído en sus investigaciones. Demócrito gozó de buena salud física; algunos dicen que vivió más de 100 años. La pintura contiene, al menos, un anacronismo: en la época de Demócrito no se usaban libros con lomo, sino rollos de papiro.

Demócrito escribió un gran número de obras, de las que solo perduran fragmentos, sobre temas variados como atomismo, epistemología, ética, política, matemática, antropología, biología y cosmología. Se dice que visitó Atenas y participó en discusiones con Sócrates. Aunque ya tenía cierta fama, evitó mencionar su nombre, quizá por modestia. Dijo: "Fui a Atenas y nadie me conoció". Diógenes Laercio cuenta que Demócrito hizo muchos viajes. Estuvo en Egipto, donde aprendió geometría, en Persia, en el mar Rojo y en Etiopía. También se dice que estuvo en India, donde se familiarizó con los filósofos ascetas

que los griegos llamaban gimnosofistas. Este contacto, u otros, pudo haber dado lugar a una influencia mutua que explicaría las semejanzas entre el atomismo griego y el indio. Uno de sus fragmentos revela un espíritu cosmopolita:

> Toda la tierra está abierta para un hombre sabio,
> pues la patria de un alma buena es la tierra entera.

No se puede afirmar que Demócrito tuviera ideas avanzadas con respecto a las mujeres. Decía, por ejemplo:

> La mujer no debe participar en discusiones, pues esto es terrible.
> Algunos hombres son dueños de ciudades pero esclavos de mujeres.
> Ser mandado por una mujer es la indignidad final para un hombre.

Sin embargo, el último acto de su vida fue de sumisión a un deseo de su hermana. Era ya muy anciano y estaba por morir. Lo que preocupaba a su hermana era que, si Demócrito moría en ese momento, ella no podría asistir a la festividad de las Tesmoforias, en honor de las diosas Deméter y Perséfone. La fiesta duraba tres días y solo asistían mujeres casadas. Demócrito dijo a su hermana que se consolara y que fuera a la fiesta. Él sobrevivió esos tres días aplicándose panes calientes en la nariz. La receta tiene relación con su teoría atómica. Los átomos del aire son como los del alma, y la respiración mantiene los átomos del alma dentro del cuerpo. Si la respiración cesa, los átomos del alma se dispersan. Aspirar los vapores del pan caliente tenía por objeto evitar la dispersión de los átomos del alma y mantenerlo vivo. Según el relato, la receta funcionó. Luego de tres días, al final de los festivales, murió. Tanto su vida como su muerte se transformaron en actos de su voluntad. El relato de su final, real o ficticio, es coherente no solo con su teoría atómica, sino también con su pensamiento acerca de la muerte: no hay que bus-

carla y tampoco esquivarla. Decía: los que huyen de la muerte, la buscan; y los tontos anhelan la vida porque temen la muerte.

La risa y el llanto

La risa de Demócrito y el llanto de Heráclito se transformaron en temas populares en el mundo romano y en símbolos de sus filosofías. La popularidad de estos símbolos terminó reduciendo conceptos filosóficos complejos a esas dos actitudes extremas. Luciano de Samosata (siglo II), que no tomó muy en serio a Empédocles y su zambullida al Etna, tampoco tuvo compasión con Demócrito y Heráclito en su diálogo *La subasta de los filósofos*. En el relato de Luciano, Zeus organiza una subasta de doctrinas filosóficas. Llega el turno de Heráclito y Demócrito. Aparece un posible comprador que mantiene el siguiente diálogo con los filósofos:

> COMPRADOR. ¡Zeus! ¡Qué diferencia hay aquí! Uno no hace más que reír, y el otro podría estar en un funeral, es todo lágrimas. ¡Eh, tú! ¿Cuál es el chiste?
>
> DEMÓCRITO. ¿Tú preguntas? Tú y tus asuntos son una gran broma.
>
> COMPRADOR. Entonces, ¿te ríes de nosotros? ¿Nuestros asuntos son un juego?
>
> DEMÓCRITO. Eso son. No deben tomarse en serio. Todo es vanidad. El mero intercambio de átomos en un vacío infinito.
>
> COMPRADOR. Tu vanidad es infinita, quieres decir. Termina con esa risa, tonto. Y tú, mi pobre hombre, ¿por qué lloras? Debo ver qué hacer de ti.
>
> HERÁCLITO. Estoy pensando, mi amigo, en los asuntos humanos, y bien puedo llorar y lamentarme, pues la perdición de todo está sellada. De ahí mi compasión y pena. Por el presente, no pienso en él; por el futuro —el futuro es todo amargura, contienda y destrucción del mundo. Lloro al pensar que nada perdura.

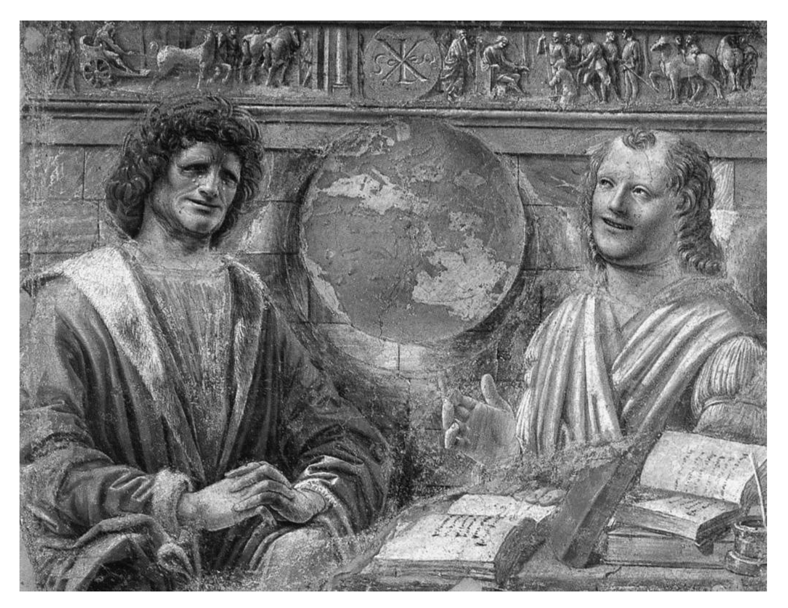


Fig. 5.3. Heráclito y Demócrito en sus actitudes tradicionales y antagónicas de llanto y risa. Pintura de Donato Bramante, 1477.

Todas las cosas se arremolinan confusas. Placer y dolor, conocimiento e ignorancia, grande y pequeño; arriba y abajo van, los juguetes del tiempo.

COMPRADOR. ¿Y qué es el tiempo?

HERÁCLITO. Un niño, que juega con tabas y a la gallina ciega.

COMPRADOR. ¿Y los hombres?

HERÁCLITO. Son dioses mortales.

COMPRADOR. ¿Y los dioses?

HERÁCLITO. Hombres inmortales.

COMPRADOR. ¿Qué es esto? ¿Acertijos? ¿Nueces para partir? Eres el mismo oráculo de la oscuridad.

HERÁCLITO. Tus asuntos no me importan.

COMPRADOR. Nadie será tan tonto de ofertar a ese precio.

HERÁCLITO. Joven y viejo, el que oferta y el que no oferta, ¡que una epidemia se los lleve a todos!

A pesar de que Luciano presenta las personalidades estereotipadas y exageradas de Demócrito y Heráclito, también es posible hallar algunas frases que ilustran su filosofía.

Ninguno de los dos consigue comprador.

Rechazo al atomismo — Epicuro

El atomismo fue rechazado por las principales corrientes de pensamiento de la Antigüedad. Diógenes Laercio cuenta que

> Platón quiso quemar los escritos de Demócrito que había podido recoger; pero Amiclas y Clinias, pitagóricos, lo evitaron diciendo que era inútil, pues aquellos libros andaban ya en manos de muchos.

Aristóteles decía que los elementos, tierra, agua, aire y fuego, no están formados por átomos, sino que son continuos. El mundo de las cosas sensibles solo puede explicarse en función de propiedades sensibles, no con matemática. Criticaba a los atomistas diciendo que, para ellos, "las cosas son números o están compuestas de números". En la crítica de Aristóteles está presente la notable intuición de que el atomismo favorecería la matematización de la naturaleza, como sucedería mucho más tarde. Por entonces nadie podía imaginar que, dos mil trescientos años después, los libros de física tendrían matemática en casi todas las páginas.

Epicuro (341 - 270 a. C.) usó el atomismo de Demócrito para la descripción de los fenómenos naturales y como punto de partida para deducir afirmaciones de carácter ético. Los eventos del mundo se basan, en última instancia, en los movimientos de

átomos en el vacío. Todo es el resultado de una ley natural determinista en un mundo materialista que no tiene plan o propósito. Epicuro dejó un resquicio para el libre albedrío al afirmar que los átomos del alma pueden tener pequeñas desviaciones con respecto a las trayectorias impuestas por la ley natural. Enseñó que la muerte es el fin del cuerpo y el alma. No se debe temer a la muerte, pues los dioses no premian ni castigan a los hombres. La única medida del bien o el mal es en función del placer o el dolor.

Algunos pasajes del poema de Lucrecio dan fundamento a acusaciones de impiedad en contra de Epicuro, a quien presenta como un campeón que se enfrenta al fanatismo de la religión:

> No intimidó a este hombre señalado
> la fama de los dioses, ni sus rayos,
> ni del cielo el colérico murmullo.
> (...)
> Por lo que el fanatismo envilecido
> a su voz es hallado con desprecio;
> ¡nos iguala a los dioses la victoria!

En la subasta de doctrinas, de Luciano, toca el turno al epicureísmo. Hermes asiste a Zeus como subastador, y anuncia la venta de la siguiente manera:

> ¿Quién oferta por el epicureísmo? Es discípulo de la doctrina risueña y de la doctrina ebria, que estuvimos ofreciendo recién. Pero tiene un talento extra: la impiedad. Por lo demás, una delicada, lasciva doctrina.

La doctrina risueña se refiere al atomismo de Demócrito. La ebria corresponde a la filosofía hedonista de Arístipo.

El estoico Epicteto (55-135) se refiere con dureza a Epicuro cuando dice

> acuéstate y duerme, y lleva la vida de un gusano, de la que te juzgas digno: come, bebe, copula, defeca y ronca.

Las críticas se extendieron al atomismo. Con la llegada del cristianismo recibió el golpe de gracia al quedar unido a una moral dudosa y al usarse como fundamento materialista de ideas antirreligiosas. Lo único que querían los epicúreos era drogas, sexo y rock'n roll. Pero, aunque consideraban un bien el placer de los sentidos, decían que los placeres del espíritu son superiores a los del cuerpo, que se deben evitar los excesos, y que la forma de alcanzar la felicidad, la vida tranquila sin dolor ni temor, es estar con amigos. Nada de esto modificó la opinión general del cristianismo y, según Dante (c. 1306), Epicuro fue al infierno aunque no creyera en él:

> Su cementerio en esta parte tienen,
> con Epicuro, todos sus secuaces
> que el alma con el cuerpo morir hacen.

Isidoro de Sevilla (c. 556 - 636), considerado el último erudito del mundo antiguo, tenía una visión del atomismo que estaba empañada por la imagen de los epicúreos; decía:

> Epicuro, cierto filósofo, era amante de la vanidad y no de la sabiduría, que incluso los mismos filósofos llamaban cerdo porque se revolcaba en la inmundicia carnal y declaraba que los placeres del cuerpo eran el mayor bien. (...) Asignó el origen de las cosas a los átomos (...) de cuya combinación al azar todas las cosas surgen y han surgido. Decía que Dios no hace nada, que todo está hecho de partículas, y que respecto a esto el alma no es diferente del cuerpo. Y por lo tanto decía "no existiré luego de que muera". (...) Los mismos errores son repetidos una y otra vez por herejes y filósofos.



Fig. 5.4. Dante y Virgilio recorren los sepulcros llameantes de los epicúreos en el infierno. Grabado de B. Baldini, c. 1481. La repetición de las figuras de Dante y Virgilio es un recurso para representar distintos momentos en el mismo escenario.

La comparación con un cerdo tuvo secuelas. Según un texto del siglo XVI, Epicuro es indigno de ser llamado filósofo, pues puso la felicidad en los excesos y los placeres. La figura 5.5 muestra una ilustración del mismo libro donde se ve a Epicuro con un cerdo.

Epicuro tenía cálculos renales que le produjeron retención de orina y una muerte dolorosa a los 72 años. Se conserva, a través de Diógenes Laercio, el texto de una carta que escribió a su amigo Idomeneo poco antes de morir. Dice que su dolor es tal que "parece no puede ya ser mayor su vehemencia" y, fiel a su pensamiento hasta el último momento, se consuela recordando viejos buenos tiempos.



Fig. 5.5. Imagen de un libro de 1598 que representa a Epicuro y un cerdo, conversando. Parte del texto junto a la ilustración dice: "[Epicuro] creía que el camino para conseguir la felicidad era el exceso, el vino, el deleite, los placeres, opiniones tales que, si los cerdos pudieran conversar, nada mejor podrían decir". Luego agrega que Epicuro y sus discípulos filosofaban en torno a la cocina y a las meretrices.

Lucrecio

El poema de Lucrecio (99 - 55 a. C.) mencionado antes es una extensa exposición del pensamiento de Epicuro y del atomismo de Demócrito y Leucipo. Es considerada una de las más antiguas obras ateas. Aunque no niega la existencia de los dioses, los considera compuestos por átomos y por completo indiferentes a los afanes humanos. Hacia el siglo XV la mayoría de las copias del poema se habían perdido; estuvo cerca de desaparecer. Fue redescubierto en Florencia, en 1417, por el humanista Poggio Bracciolini, secretario papal. El espíritu renacentista influyó

en toda la sociedad, incluyendo la curia. Durante los siglos XV y XVI hubo papas que favorecieron la publicación del poema de Lucrecio, por genuino interés en la cultura clásica y, quizá, por considerarlo ya inofensivo.

La física de Lucrecio trata sobre vacío, átomos, sus propiedades y movimiento, la forma en que se combinan y componen los objetos que apreciamos con nuestros sentidos, el origen del mundo, las estaciones, el día y la noche, y el movimiento de los cuerpos celestes. Uno de los pasajes más analizados es:

> (...) aun cuando en el vacío se dirijan
> perpendicularmente los principios
> hacia abajo, no obstante, se desvían
> de línea recta en indeterminados
> tiempos y espacios; pero son tan leves
> estas declinaciones, que no deben
> apellidarse casi de este modo.

El nombre que usa Lucrecio para estas declinaciones o desviaciones mínimas es *clinamen* y, como Epicuro, las considera el origen del libre albedrío en los seres vivos que, de otro modo, estarían sujetos a un determinismo mecanicista. En la traducción citada, "principio" es equivalente a "átomo". Se ha llamado la atención acerca de la analogía que existe entre el clinamen y el principio de incerteza de la mecánica cuántica, también utilizado en debates sobre la conciencia o la voluntad. En ningún caso queda claro cómo una desviación aleatoria o una incerteza cuántica pueden ser la base del libre albedrío. Cicerón (106 a. C. - 43 a. C.) hace la siguiente crítica:

> según tú, Epicuro, la fuerza es de la gravedad y el peso. Por tanto: ¿qué nueva causa hay en natura que desvíe al átomo? ¿O acaso sortean entre ellos cuál se desviará y cuál no? o ¿por qué se desviará en una distancia mínima, y no más grande? (...) Eso es enunciar deseos, y no explicar con razones. (...) [S]i hubiera

> átomos —los cuales ciertamente no puedes de ninguna manera probarme que los hay— esas desviaciones nunca se explicarían.

Lucrecio no tiene un lugar destacado en la historia de la ciencia, situación que algunos han intentado cambiar, sin éxito. Por ejemplo, M. Serres, filósofo e historiador, llega a afirmar que el poema de Lucrecio y la matemática de Arquímedes representan el verdadero nacimiento de la física al describir un mundo de átomos que fluyen en torbellinos, en oposición al mundo rígido y determinista de Galileo y Newton. A pesar de los méritos de Lucrecio y Arquímedes, la apología de Serres es ineficaz. Él y otros posmodernos sostienen que existe una oposición entre la mecánica clásica, o newtoniana, reversible y lineal, de los cuerpos sólidos, y la física de fluidos, caótica, turbulenta, irreversible y no lineal, considerada superior. La oposición es falsa por varios motivos. En la naturaleza existen sistemas que se pueden describir con cuerpos sólidos o con fluidos, no son descripciones incompatibles o excluyentes. Comportamiento caótico y no lineal también puede observarse en sistemas simples completamente descritos por la mecánica newtoniana como, por ejemplo, el péndulo doble (un péndulo que cuelga del extremo de otro péndulo). Finalmente, la segunda ley de Newton es uno de los pilares de la deducción de las ecuaciones de fluidos. La física de Newton no solo es compatible con la de los fluidos, también es necesaria.

La opinión general sobre Lucrecio no ha mejorado. Asimov lo ha considerado más un transmisor que un creador de conocimiento. Afirmaciones oscuras o confusas, en especial en temas astronómicos, han hecho que Lucrecio sea más valorado como poeta que como científico. Varias partes del poema pueden apoyar este juicio. Sin embargo, también es posible encontrar argumentos físicos notables, que se adelantan a su tiempo. Con respecto a los objetos en caída libre dice:



Fig. 5.6. Un astronauta de la misión Apolo 15 deja caer un martillo y una pluma sobre la superficie de la Luna. Debido a la ausencia de fricción del aire, ambos caen a la misma velocidad, confirmando lo que decía Galileo, y también Lucrecio: el martillo y la pluma, aunque "desiguales en sus masas, moverse en el vacío deberán todos con igual presteza".

Es verdad que en el aire o en el agua
aceleran los cuerpos su caída
según su pesadez, porque las aguas
y el fluido del aire a todo cuerpo
no pueden resistir del mismo modo;
ceden más fácilmente a los más graves,
más no sucede así con el vacío;
ninguna resistencia opone al cuerpo;
a todos igualmente les da paso:
por lo que los principios, desiguales
en sus masas, moverse en el vacío
deberán todos con igual presteza.

Los átomos, o principios, pueden tener distinto peso. En el vacío, sin embargo, todos caen con la misma velocidad. El razonamiento podría extenderse a cuerpos formados por átomos. Esta observación adelanta en 1600 años el legendario experimento de Galileo en la torre inclinada de Pisa. Se dice que Galileo de-

jó caer objetos de distinto peso y observó que llegaban al suelo prácticamente al mismo tiempo. Lucrecio intuyó, como Galileo mucho después, que si había diferencia en el tiempo de caída se debía a la resistencia del aire, o del fluido donde se movieran los cuerpos, y que, en el vacío, los cuerpos de cualquier peso caerían siempre a la misma velocidad. Esta notable intuición debería ser suficiente para valorar mejor el papel de Lucrecio en la historia de la ciencia. Una idea similar aparece en una carta de Epicuro sobre la naturaleza, pero Epicuro parece referirse no solo a la caída partiendo del reposo sino a cualquier tipo de movimiento en el vacío. Dice que, en el vacío, un cuerpo recorre cualquier distancia imaginable en un tiempo corto, idea errónea que Lucrecio también reproduce: "[Los átomos] deben aventajar en ligereza, y con mayor presteza ser movidos, que los rayos del Sol".

Lucrecio recurre a una imagen inspirada y bella para enseñar el movimiento de los átomos. Lo compara con el de partículas de polvo que se ven "cuando del Sol los rayos se insinúan de través por las piezas tenebrosas", y agrega:

> Si reparas, verás cómo se agitan
> átomos infinitos de mil modos
> por el vacío en el luciente rayo:
> y en escuadrones, en combate eterno
> se dan crudas batallas y peleas,
> y no paran jamás: ya se dividen,
> y ya continuamente se repliegan.

Cada mota de polvo está formada, en realidad, por un número grande —muy grande— de átomos. La imagen de Lucrecio debe entenderse solo como una metáfora del movimiento de los átomos o de cómo él lo imaginaba.

La idea de que nada surge de la nada, o *ex nihilo nihil*, es mencionada por Bunge como el "principio de Lucrecio". Lucrecio dice al respecto:

> Ninguna cosa nace de la nada;
> no puede hacerlo la divina esencia:
> aunque reprime a todos los mortales
> el miedo de manera que se inclinan
> a creer producidas por los dioses
> muchas cosas del cielo y de la tierra,
> por no llegar a comprender sus causas.

Como la materia o la energía no pueden surgir de la nada, el principio de Lucrecio está asociado a las leyes físicas de conservación de masa o de energía.

Al final del libro IV, Lucrecio deja a un lado los temas científicos para hablar sobre el amor. El tono es melancólico y desesperanzado. Por ejemplo dice

> Pero un semblante hermoso y peregrino,
> solo deja gozar en nuestro cuerpo
> ligeros simulacros que arrebatan
> miserable esperanza por los aires.

Luego agrega,

> Que es mejor abrazar, como he enseñado,
> el estar siempre alerta, y no dejarse
> enredar en sus lazos; pues más fácil
> es evitar las redes, que escaparse
> y de Venus romper los fuertes lazos
> cuando el amor nos tiene ya prendidos.

Estos versos recuerdan la letra del tango *Tomo y obligo* cuando dice: “siga un consejo, no se enamore”. El final de Lucrecio está a tono con esta visión pesimista. Lo poco que se conoce está en la zona difusa que se encuentra en el límite entre historia y leyenda. El teólogo e historiador Jerónimo de Estridón, o San



Pero un semblante
hermoso y peregrino,
solo deja gozar en
nuestro cuerpo
ligeros simulacros que
arrebatan
miserable esperanza
por los aires.

Fig. 5.7. Posible retrato de Lucrecio. Según la fuente (un diccionario del siglo XIX) el retrato se encontraba en una antigua ágata negra.

Jerónimo, comenta en su *Chronicon* (c. 380) que Lucrecio enloqueció al beber una poción de amor, que en los intervalos entre ataques de locura escribió algunos libros, quizá *De rerum natura*, y que, finalmente, se suicidó cuando tenía 44 años. Jerónimo deja varios cabos sueltos. No sabemos si Lucrecio bebió la poción por propia voluntad o se la dieron sin que lo supiera, o si enloqueció por una falla en la receta o como resultado de la combinación de efectos opuestos; por un lado, la poción, y por otro su aversión al amor le habrían producido un conflicto interno que lo llevó a la desesperación y el suicidio. Finalmente, tampoco sabemos si la historia solo ha sido inventada para indicar que todo lo que Lucrecio escribió no son más que locuras. Isidoro de Sevilla, probablemente basándose en las crónicas de Jerónimo, decía que Lucrecio se suicidó como consecuencia de locura de enamorado. Russell (1946) no descarta estas historias. Incluso afirma que la combinación de situación política desalentadora e

insania recurrente habría llevado a Lucrecio a aceptar el fin de su alma como una esperanza liberadora.

Hablando de locuras, como se mencionó antes, los abderitanos pensaban que su sabio local, Demócrito, estaba loco, y su risa intempestiva no ayudaba a mejorar las cosas. Otro que no era del todo normal era Sócrates, de quien se hablará en el capítulo 6. Decía que lo guiaba un oráculo o *daimon* invisible. También se ha supuesto que sufría ataques de catalepsia, lo que explicaría ocasiones en las que se quedaba parado, quieto, en apariencia pensando en un problema, durante horas.

El atomismo moderno

Los átomos ya no son lo que eran. Lo que hoy llamamos átomo puede dividirse. Según el modelo estándar, los verdaderos indivisibles son los quarks, los electrones y algunas otras partículas más raras. Los quarks forman los neutrones y protones en el núcleo del átomo. La idea de vacío también ha cambiado. El vacío no está tan vacío como se creía. Según la mecánica cuántica, existen fluctuaciones que, por tiempos muy breves, producen la creación y aniquilación de partículas en el vacío, en una efervescencia permanente. Desde 1981, los átomos han dejado de ser inobservables gracias al microscopio de efecto túnel, que permite obtener imágenes como la de la figura 5.8.

La importancia del atomismo clásico residió en interpretar toda apariencia en función de unos principios básicos válidos a escalas microscópicas. Hubo que esperar hasta el siglo XIX para que este enfoque lograra el enorme éxito del atomismo moderno.

Feynman, premio Nobel de Física en 1965, dice acerca del atomismo:

> Si, en algún cataclismo, todo el conocimiento científico fuera destruido, y solo una frase pasara a la próxima generación de criaturas, ¿qué frase podría con-

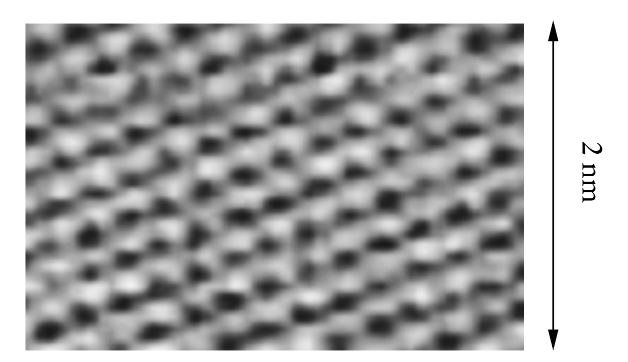


Fig. 5.8. Superficie de grafito en la que se observa el carácter granular, o atómico, de la materia. Cada lóbulo de color claro representa dos átomos de carbono; su tamaño es de alrededor de 0,15 nanómetros; se tiene un nanómetro al dividir un milímetro en un millón de partes iguales. (Cortesía del Dr. Celso Aldao, INTEMA.)

> tener la mayor información en el menor número de palabras? Creo que es la hipótesis atómica (o el *hecho* atómico, o como quiera llamarlo) que *todas las cosas están hechas de átomos, pequeñas partículas que se mueven con movimiento perpetuo.*

Luego agrega "*Todo está hecho de átomos.* Ésa es la hipótesis clave".

6

EL MÉTODO SOCRÁTICO

Las reformas democráticas de Solón, del siglo VI a. C., aumentaron la autonomía de los hombres libres de las ciudades griegas. Los ciudadanos no acataban otra autoridad que la que ellos mismos negociaban. Se sentían orgullosos de esta autodeterminación y consideraban que los diferenciaba de sus vecinos, a quienes llamaban bárbaros. El ágora era escenario de intensas polémicas donde los ciudadanos tomaban las decisiones de estado. No existía una autoridad ajena que resolviera los conflictos. La forma de imponer una posición era a través de la persuasión y la refutación de las posiciones contrarias. Las discusiones políticas favorecieron el perfeccionamiento de técnicas de debate, técnicas que se extendieron a otros campos de la cultura. La ciencia griega, aunque inferior en sus principios a la de Egipto o Mesopotamia, adoptó el estilo de esas técnicas que resultó en una revolución del conocimiento. Surgió la necesidad de sostener las teorías científicas a través de la argumentación y la prueba, y de defenderlas de la crítica. Las ideas se renovaban así continuamente, en contraste con la inmutabilidad de los textos milenarios egipcios o mesopotámicos. Esa necesidad impulsó también el desarrollo de la lógica y de las demostraciones matemáticas como las que pueden encontrarse en *Los elementos*, de Euclides.

Además de una influencia de las técnicas de debate político en la forma de hacer ciencia, debía haber, a la inversa, una

influencia de la matemática en los asuntos de la política. Eso era lo que opinaba Arquitas (c. 428 - c. 350 a. C.):

> El razonamiento matemático, cuando se lo descubre, controla las contiendas políticas y aumenta la concordia, pues en su presencia no hay ventaja injusta, y reina la igualdad. Con razonamiento matemático suavizamos nuestras diferencias en el trato con los demás. A través de él, el pobre toma del poderoso, y el rico da al necesitado, ambos confiando que, a través de él, serán tratados de manera justa.

Sócrates

El método socrático es una técnica de debate o, mejor, de diálogo, o dialéctica, que no solo apunta a cuestionar las ideas ajenas, sino también las propias. Según Sócrates (c. 469 - 399 a. C.), citado por Platón,

> el mayor bien del hombre es hablar de la virtud todos los días de su vida y conversar sobre todas las demás cosas que han sido objeto de mis discursos, ya sea examinándome a mí mismo, ya examinando a los demás, porque una vida sin examen no es vida.

Sócrates no dejó nada escrito. La mayor parte de lo que se conoce sobre su filosofía nos ha llegado a través de Platón (428/427 - 348/347 a. C.). El método socrático, o de *elenchus* (escrutinio o refutación), ha tenido enorme influencia en el método científico y esa es la razón por la que Sócrates aparece aquí a pesar de que su interés principal no era la ciencia, sino la ética y la epistemología. Consiste en el diálogo entre dos individuos con puntos de vista opuestos. A base de formular y contestar preguntas, indagan la consistencia de verdades comúnmente aceptadas que, aunque ocultas, son el fundamento de las opiniones. Se estimula así el pensamiento crítico, base de la actividad científica. Uno de los interlocutores, usualmente representado por

Una vida sin examen no es vida.

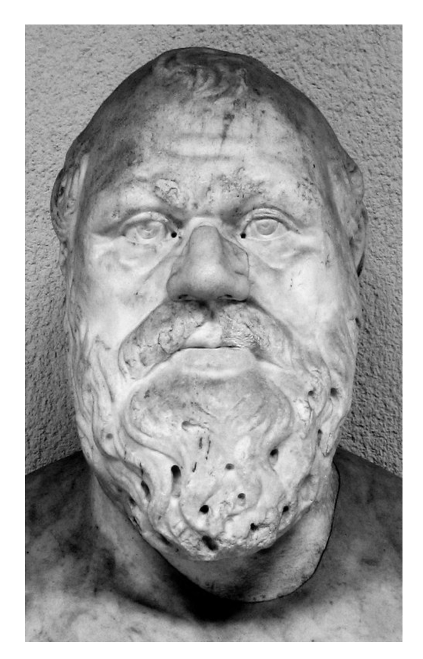


Fig. 6.1. Busto de Sócrates, copia romana del siglo II d. C. de un original del siglo IV a. C. Se supone que el retrato reproduce rasgos reales. Las fuentes antiguas coinciden en que era más parecido a un sátiro que a un hombre.

Sócrates, dirige el diálogo a través de una secuencia de preguntas cuya conclusión lógica es la refutación de una hipótesis que el otro creía válida en un principio. A primera vista parece servir para destruir hipótesis más que para obtener conocimiento. Benjamin Franklin, político y científico, hablaba de la siguiente manera sobre el método socrático:

> Encontré este método el más seguro para mí y muy embarazoso para aquellos contra quienes lo usaba; por lo tanto, me deleitaba en él, lo practicaba continuamente, y me volví diestro y experto en inducir

> a personas, aún de conocimiento superior, a hacer concesiones cuyas consecuencias no preveían, enredándolos en dificultades de las que no podían librarse, y así obteniendo una victoria que ni yo ni mis causas siempre merecían.

El método tiene, sin embargo, un aspecto positivo importante. El otro, el que se ve enredado en dificultades y encuentra sus hipótesis refutadas, es despojado de una certeza. Y la incertidumbre lo pone en un estado más favorable para descubrir la verdad. En el diálogo *Menón*, de Platón, el tema principal es determinar qué es la virtud. El extracto que sigue, algo reducido, trata, en cambio, sobre el problema de la duplicación del área de un cuadrado. Es un ejemplo del método que el mismo Sócrates utiliza para ilustrar su funcionamiento, y sus aspectos positivos, a su amigo Menón. Sócrates habla con un esclavo:

> SÓCRATES. (Al servidor.) Dime entonces, muchacho, ¿conoces que una superficie cuadrada es una figura así? (La dibuja.)
>
> 2 pies
>
> SERVIDOR. Yo sí. (...)
>
> SÓCRATES. Si este lado fuera de dos pies y este otro también de dos, ¿cuántos pies [cuadrados] tendría el todo? (...) ¿Resulta, ciertamente, dos veces dos pies?
>
> SERVIDOR. Sí.
>
> SÓCRATES. ¿Cuánto es entonces dos veces dos pies? Cuéntalo y dilo.
>
> SERVIDOR. Cuatro, Sócrates.
>
> SÓCRATES. ¿Y podría haber otra superficie, el doble de ésta, pero con una figura similar, es decir, teniendo todas las líneas iguales como ésta?
>
> SERVIDOR. Sí.
>
> SÓCRATES. ¿Cuántos pies [cuadrados] tendrá?
>
> SERVIDOR. Ocho.

SÓCRATES. Vamos, trata ahora de decirme cuál será el largo que tendrá cada una de sus líneas. Las de ésta tienen dos pies, ¿pero las de ésa que es doble?

SERVIDOR. Evidentemente, Sócrates, el doble.

SÓCRATES. ¿Ves, Menón, que yo no le enseño nada, sino que le pregunto todo? Y ahora él cree saber cuál es el largo del lado del que resultará una superficie de ocho pies [cuadrados], ¿o no te parece?

MENÓN. A mí sí.

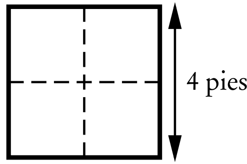
SÓCRATES. ¿Pero lo sabe?

MENÓN. Claro que no. (...)

SÓCRATES. (Al servidor.) Y tú, dime: ¿afirmas que de la línea doble se forma la superficie doble? (...) Fíjate si todavía te parece que resultará el doble de la línea.

SERVIDOR. A mí sí. (...)

SÓCRATES. ¿Pero no hay en esta superficie estos cuatro cuadrados, cada uno de los cuales es igual a ése de cuatro pies [cuadrados]?



SERVIDOR. Sí.

SÓCRATES. ¿De qué tamaño resultará entonces? ¿No es cuatro veces mayor?

SERVIDOR. Desde luego.

SÓCRATES. ¿Y es doble lo que es cuatro veces mayor?

SERVIDOR. ¡No, por Zeus!

SÓCRATES. ¿Cuántas veces entonces?

SERVIDOR. El cuádruple.

SÓCRATES. Entonces, de la línea doble, muchacho, no resulta una superficie doble sino cuádruple.

SERVIDOR. Es verdad.

SÓCRATES. Entonces la superficie de ocho pies [cuadrados], ¿de cuál línea resulta? De ésta nos ha resultado el cuádruple. (...) ¿No resultará entonces una línea

mayor que ésta [de dos pies], pero menor que ésa [de cuatro pies], o no?

SERVIDOR. A mí me parece que sí. (...)

SÓCRATES. Trata de decir qué largo afirmas que tendrá.

SERVIDOR. Tres pies. (...)

SÓCRATES. De modo que si tiene tres por aquí y tres por allí, ¿la superficie total resulta tres veces tres pies?

SERVIDOR. Evidentemente.

SÓCRATES. Tres veces tres, ¿cuántos pies [cuadrados] son?

SERVIDOR. Nueve. (...)

SÓCRATES. Entonces de la línea de tres pies tampoco deriva la superficie de ocho.

SERVIDOR. Desde luego que no.

SÓCRATES. Pero entonces, ¿de cuál? Trata de decírnoslo con exactitud. Y si no quieres hacer cálculos, muéstranosla en el dibujo.

SERVIDOR. ¡Por Zeus!, Sócrates, que yo no lo sé.

En este punto, Sócrates logra eliminar las certezas. El servidor se encuentra ahora en un estado a partir del cual puede hallar la respuesta correcta, pues conocer la propia ignorancia es un paso previo necesario para despertar la avidez de conocimiento. Conocer la propia ignorancia es lo que se propone en la famosa frase, de autenticidad dudosa, "solo sé que no sé nada". El objetivo de Sócrates no es transmitir al servidor la respuesta en forma directa, sino que la vaya descubriendo poco a poco a través de las preguntas, como si se tratara de un recuerdo perdido que, luego de un tiempo, se vuelve a encontrar.

SÓCRATES. ¿Te das cuenta una vez más, Menón, en qué punto se encuentra ya del camino de la reminiscencia? Porque al principio no sabía cuál era la línea de la superficie de ocho pies [cuadrados], como tampoco ahora lo sabe aún; sin embargo, creía entonces saberlo y respondía con la seguridad propia del que sabe, considerando que no había problema. Ahora, en cambio, considera que está ya en el problema. (...)

¿Entonces está ahora en una mejor situación con respecto del asunto que no sabía?

MENÓN. Así me parece. (...)

SÓCRATES. ¿Crees acaso que él hubiera tratado de buscar y aprender esto que creía que sabía, pero ignoraba, antes de verse problematizado y convencido de no saber, y de sentir el deseo de saber?

MENÓN. Me parece que no, Sócrates. (...)

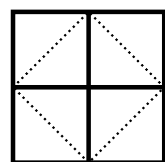
SÓCRATES. Observa ahora (...) qué es lo que efectivamente va a encontrar, buscando conmigo, sin que yo haga más que preguntar, y sin enseñarle. Vigila por si me encuentras enseñándole y explicándole en lugar de interrogarle por sus propios pareceres. (Al servidor.) Dime entonces tú: ¿No tenemos aquí una superficie de cuatro pies [cuadrados]?

SERVIDOR. Sí.

SÓCRATES. ¿Podemos agregarle a ésa otra igual? (...) ¿Y esta tercera? (...)

SERVIDOR. Sí. (...)

SÓCRATES. Entonces esta línea que va de un ángulo a otro, ¿no corta en dos a cada una de estas superficies?

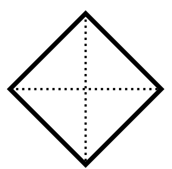


SERVIDOR. Sí. (...)

SÓCRATES. Observa ahora: ¿qué tamaño tiene esta superficie?

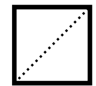
SERVIDOR. No entiendo. (...)

SÓCRATES. ¿Cuántas de esas mitades hay en ésta?



SERVIDOR. Cuatro.

SÓCRATES. ¿Y cuántas en ésa?



SERVIDOR. Dos.
SÓCRATES. ¿Qué es cuatro de dos?
SERVIDOR. El doble.
SÓCRATES. ¿Y esta superficie, ¿cuántos pies [cuadrados] tiene?
SERVIDOR. Ocho pies [cuadrados]. (...)
SÓCRATES. Los sofistas la llaman [a esta línea] "diagonal", y puesto que si "diagonal" es su nombre, de la diagonal se llegará a obtener, como tú dices, servidor de Menón, la superficie doble.
SERVIDOR. Por supuesto que sí, Sócrates.

El servidor llega, finalmente, a la respuesta correcta. El camino habría sido más corto si Sócrates hubiera dado el resultado desde el principio. Pero el grado de comprensión que logra el servidor de esta forma es mayor, pues ahora también conoce, a través del análisis crítico, las fallas de sus intentos anteriores. El servidor acompaña los razonamientos para llegar al resultado final, pero es discutible que esos razonamientos estuvieran previamente en su alma y que los fuera recordando en el proceso. Aunque Sócrates afirma que él no enseña y que solo pregunta, sus preguntas también transmiten información. La reminiscencia en el método socrático es un argumento que utiliza Platón a favor de la existencia de un alma inmortal, tal vez versada en geometría. Los conocimientos de vidas anteriores se olvidan en el momento del nacimiento, pero pueden recuperarse. La existencia de un alma inmortal encaja en el sistema platónico: el universo está dividido en el mundo de las ideas, que corresponde al auténtico ser inmutable y eterno, y el mundo de las apariencias, de lo mutable y perecedero. Nuestra verdadera esencia es el alma eterna, nuestro cuerpo pertenece al mundo de las apariencias. En este punto es difícil reconocer, en los diálogos, cuáles son las ideas de Sócrates y cuáles las de Platón puestas en boca de Sócrates. En

el diálogo *Fedón*, Sócrates defiende la inmortalidad del alma. En otros pasajes se muestra agnóstico:

> temer la muerte, atenienses, no es otra cosa que creerse sabio sin serlo, y creer conocer lo que no se sabe. En efecto, nadie conoce la muerte, ni sabe si es el mayor de los bienes para el hombre. Sin embargo, se la teme, como si se supiese con certeza que es el mayor de todos los males. ¡Ah! ¿No es una ignorancia vergonzante creer conocer una cosa que no se conoce?

Al retirarse del tribunal donde se realizó el juicio en su contra dijo:

> Pero ya es tiempo de que nos retiremos de aquí, yo para morir, vosotros para vivir. Entre vosotros y yo, ¿quién lleva la mejor parte? Esto es lo que nadie sabe, excepto Dios.

La dificultad para distinguir las ideas de Sócrates de las de Platón también aparece en el diálogo cómico de Luciano, donde la dualidad platónica del mundo de las ideas y el de las apariencias se presenta atribuida a Sócrates. En la subasta de doctrinas aparece un comprador interesado en su filosofía:

> COMPRADOR. Ahora, ¿cuáles son las principales características de tu filosofía?
>
> SÓCRATES. Ideas y tipos de cosas. Todas las cosas que ves, la tierra y todo lo que está sobre ella, el mar, el cielo; todo tiene su equivalente en el mundo invisible.
>
> COMPRADOR. ¿Y dónde están?
>
> SÓCRATES. En ningún lado. Si estuvieran en alguna parte, no serían lo que son.
>
> COMPRADOR. No veo ninguna señal de estos "tipos" tuyos.
>
> SÓCRATES. Por supuesto que no; porque estás espiritualmente ciego. Yo veo los equivalentes de todas las

cosas; un tú invisible, un yo invisible; todo está en duplicado.

COMPRADOR. Ven, una doctrina tan astuta, aguda y penetrante como ésta bien vale una oferta. Déjame ver. ¿Cuánto quieren por él?

Aunque Luciano parece querer tomar distancia de todas las doctrinas filosóficas, su actitud es, de manera inevitable, también filosófica, en particular asociada al escepticismo. Bromas aparte, la crítica que hace cuando el comprador dice "No veo ninguna señal de estos 'tipos' tuyos", es, en esencia, la misma que hizo Aristóteles del idealismo platónico.

Sócrates era raro. Su andar ostentoso era tan intimidante que, en la batalla, los soldados enemigos se mantenían a distancia. En la ciudad iba descalzo y usaba la misma ropa para dormir que para andar durante el día, con aspecto arrogante y llevando un palo. Parece que no hacía nada para ganarse la vida. Aunque los jóvenes de la ciudad lo acompañaban y lo imitaban, Sócrates insistía en que no era un maestro. Él no transmitía conocimientos, sólo ayudaba a que los otros encontraran dentro suyo lo bueno y lo verdadero. Al hacerlo no distinguía entre hombres y mujeres, libres y esclavos, o pobres y ricos. Siempre se negó a aceptar dinero por lo que hacía. Eligió la pobreza. Era el moscardón de la ciudad, el que exponía las contradicciones y la ignorancia de los atenienses. No se alineó a ninguna de las facciones políticas del momento: los demócratas y los oligarcas, sino que apoyó y se opuso a acciones de ambos, ganando amigos y enemigos.

La esposa de Sócrates, Jantipa, tenía mal carácter. Algunas anécdotas la presentan como una arpía. Según Diógenes Laercio, Sócrates tomaba la convivencia con Jantipa como una especie de entrenamiento, pues luego le resultaba más fácil el trato con las demás personas. En una ocasión, Jantipa lo regañó y luego le arrojó agua. La reacción de Sócrates fue murmurar: "¿No dije yo que el tronar de Jantipa terminaría en lluvia?".



Fig. 6.2. Jantipa arroja agua sobre Sócrates, ilustración de 1669.

Cuando llegó el juicio y la condena, Jantipa se lamentó de que su esposo moriría injustamente, a lo que Sócrates respondió: "¿Quisieras acaso tú que mi muerte fuera justa?".

En algunos diálogos se atribuye a Sócrates actitudes homosexuales, quizá en conformidad con las costumbres de la época o, de nuevo, con las de Platón. Esas actitudes no tuvieron relación con las acusaciones que recibió por impiedad y por corrupción de la juventud. (El famoso matemático Alan Turing, en la Inglaterra del siglo XX, no tuvo la misma suerte: fue condenado a la castración química por su homosexualidad.)

Juicio por impiedad

Sócrates fue acusado de impiedad, de no mostrar la reverencia que corresponde a los dioses de Atenas, y de que esta actitud resultara en la corrupción de los jóvenes. Según la acusación, Sócrates no creía en los dioses de Atenas y, además, había introducido nuevas divinidades. El cargo tenía algunos fundamentos. Sócrates había dicho que los dioses no cometen actos malvados, pero los del Olimpo eran rencorosos y pendencieros. También creía que un *daimon* o *daimonion*, una especie de guía espiritual, le hablaba desde niño. A diferencia de la tradición judeo-cristiana, estos demonios eran de naturaleza bondadosa.

La comedia de Aristófanes, *Las Nubes*, tiene a Sócrates como uno de los personajes principales. Fue llevada al teatro cuando Sócrates tenía alrededor de cuarenta años. Es una sátira y una crítica a su pensamiento y sus costumbres. En el extracto que sigue, Aristófanes se refiere a la supuesta impiedad de Sócrates. En la obra, un tal Estrepsíades acude a Sócrates con la intención es lograr destreza en retórica para enfrentar en un pleito a sus varios acreedores. Como parte de su enseñanza, Sócrates le presenta las Nubes:

> SÓCRATES. Es que verdaderamente éstas son las únicas diosas. Todo lo demás son pamplinas.
>
> ESTREPSÍADES. Pero Zeus, según vosotros, a ver, ¡por la Tierra! ¿Zeus Olímpico no es un dios?
>
> SÓCRATES. ¿Qué Zeus? No digas tonterías. Zeus ni siquiera existe.
>
> ESTREPSÍADES. Pero, ¿tú qué dices? Pues, ¿quién hace llover? Esto, acláramelo antes de nada.
>
> SÓCRATES. ¡Ésas, claro! Y te lo demostraré con pruebas de gran peso. A ver: ¿dónde has visto tú que alguna vez llueva sin nubes? Sin embargo, lo que tendría que ser es que él hiciera llover con el cielo despejado y que estas estuvieran ausentes.

ESTREPSÍADES. ¡Por Apolo!, con lo que acabas de decir le has dado un buen apoyo al asunto éste. (...)

SÓCRATES. Las nubes, al estar llenas de agua, te digo que chocan unas con otras y hacen ruido porque son muy densas.

ESTREPSÍADES. Vamos a ver: eso, ¿quién se lo va a creer?

SÓCRATES. Te lo voy a explicar poniéndote a ti como ejemplo. En las fiestas Panateneas, cuando ya estás harto de sopa de carne, ¿no se te revuelven las tripas y de pronto se produce un movimiento en ellas que empieza a producir borborigmos?

ESTREPSÍADES. Sí, por Apolo, y al momento provoca un jaleo horrible y un alboroto; y la dichosa sopa produce un ruido y un estruendo tremendo, como un trueno; primero flojito, "papax, papax", después más fuerte "papapapax", y cuando descargo, tal como un trueno, "papapapax", como hacen ellas.

SÓCRATES. Pues fíjate qué ventosidades tan grandes han salido de ese vientre tan pequeño. Y el aire éste, que es infinito, ¿cómo no va a ser natural que produzca truenos tan grandes?

El estilo de Aristófanes no era original ni transgresor; era, 2400 años atrás, clásico y conservador. La obra de Aristófanes influyó en la imagen de Sócrates y, según Platón, le fue más difícil contestar a las risas del teatro que a los argumentos de sus acusadores en el juicio.

Antes de comenzar con el proceso, Sócrates tenía derecho a optar por un exilio voluntario. Se negó a ejercer ese derecho y, en cambio, se dirigió a la audiencia, deteniéndose primero para conversar con unos jóvenes sobre matemática. En una parte del juicio, su acusador, Melito, le imputa el mismo pecado cometido por Anaxágoras. Sócrates se defiende tomando distancia de las ideas naturalistas de Anaxágoras:

MELITO. Te acuso de no reconocer ningún Dios.

> SÓCRATES. ¡Qué extraordinaria afirmación!, ¿por qué dices eso, Melito? ¡Qué! ¿Quieres decir que no creo como los demás hombres que el Sol y la Luna son dioses?
>
> MELITO. No, ¡por Zeus!, atenienses, no lo cree, porque dice que el Sol es una piedra y la Luna una Tierra.
>
> SÓCRATES. Amigo Melito, crees que estás acusando a Anaxágoras. Desprecias a los jueces, porque los crees harto ignorantes, puesto que te imaginas que no saben que los libros de Anaxágoras de Clazomene están llenos de aserciones de esta especie. Por lo demás, ¿qué necesidad tendrían los jóvenes de aprender de mí cosas que podían ir a oír todos los días al teatro, por un dracma a lo más? ¡Magnífica ocasión se les presentaba para burlarse de Sócrates, si Sócrates se atribuyese doctrinas que no son suyas y tan extrañas y absurdas por otra parte!

La mención de las ideas de Anaxágoras en el teatro es, quizá, una alusión a obras de Eurípides, u otros poetas, que las usaron. A pesar de su defensa, Sócrates fue hallado culpable y condenado a muerte. Una vez establecida la condena, ya no era posible la opción del exilio.

Platón cuenta que su amigo, Critón, lo visita en la celda. Le dice que se entiende con el guardia de la prisión, que le hizo algunos favores, y le propone huir. Sócrates, con la muerte cerca, no deja de ser el que siempre fue y dice

> no es de ahora, ya lo sabes, la costumbre que tengo de solo ceder por razones que me parezcan justas, después de haberlas examinado detenidamente.

En el diálogo *Critón*, Sócrates explica que en ninguna circunstancia se debe actuar de manera injusta o equivocada, ni siquiera bajo amenaza de muerte. No puede aceptar el exilio ilegal cuando pudo haberlo hecho antes de manera legal. Quebrar la ley confirmaría la opinión del jurado de que corrompe a la juventud, y traería vergüenza a su familia y amigos. En *Fedón*, Platón

cuenta que llega el momento del final y un servidor trae el veneno. Acercándose a Sócrates, dice:

> No tendré que hacerte el mismo reproche que a los otros, porque en cuanto les advierto de la orden de los magistrados que es preciso que beban el veneno, me increpan y me maldicen. Pero tú no eres como ellos; desde que entraste en la prisión te he encontrado el más firme, el más bondadoso y el mejor de cuantos aquí han estado presos.

Sócrates bebe con serenidad. Sus amigos ya no pueden contenerse y lloran. Sócrates les pide que muestren firmeza. Continúa paseándose, hasta que nota un gran peso en las piernas. Se recuesta en el lecho. El servidor que trajo el veneno le presiona el pie y le pregunta si lo siente. Sócrates dice que no. Luego presiona las piernas. El cuerpo de Sócrates se enfría y se torna rígido. Ya tiene el abdomen frío cuando se descubre el rostro y dice a Critón: "Debemos un gallo a Esculapio; no te olvides de pagar esta deuda". Critón contesta: "Lo haré, pero piensa si no tienes nada más que decirme", esperando, quizá, una frase póstuma menos pedestre. "Nada", dice Sócrates, y muere.

Sería largo mencionar solo la lista de autores que se han dedicado a interpretar los diálogos de Platón, a distinguir hasta qué punto es una obra literaria o un reporte histórico, o a tratar de separar la filosofía de Sócrates de la de Platón. Se trata de problemas a los que no ha sido posible dar una respuesta definitiva, y quizá nunca lo será. Con respecto a las últimas palabras de Sócrates, la interpretación más frecuente es que la muerte es una cura para la vida, como si la vida fuera una enfermedad, pues se sacrificaba un gallo a Esculapio para pedir por una cura. Nietzsche hace la misma interpretación de estas palabras "ridículas y terribles", "veladas, horribles, piadosas y blasfemas", y se lamenta de que, a último momento, Sócrates hiciera esta manifestación de pesimismo ante la vida.

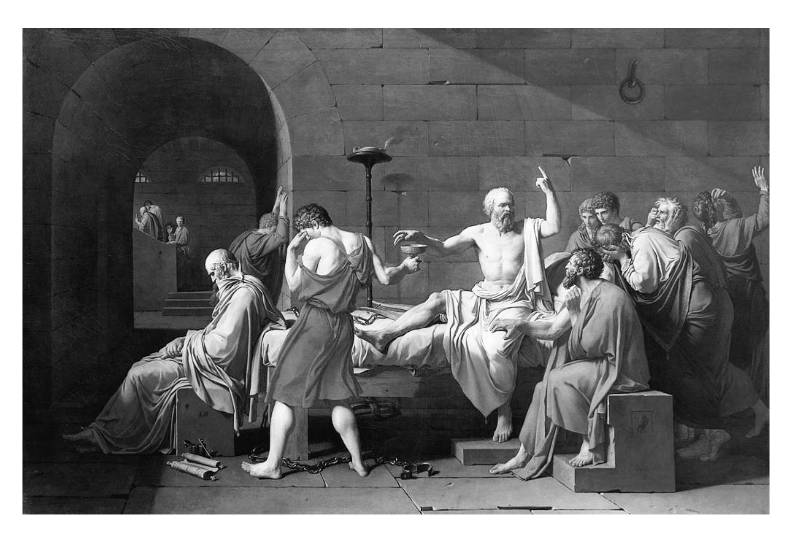


Fig. 6.3. *La muerte de Sócrates*, óleo de J.-L. David, 1787. En la escena aparece el servidor, extendiendo la copa de veneno hacia Sócrates; Critón, que pone su mano sobre el muslo de Sócrates como intentando aún disuadirlo; y Platón, abatido, sentado a la izquierda. La presencia de Platón en la escena está fuera de tiempo y lugar, pero es acorde a su relevancia en la historia. Se supone que no estuvo presente y, además, parece anciano, aunque en ese momento tenía alrededor de 28 años. En el piso hay un rollo de sus diálogos; lo que sucede en la escena ya lo ha visto y escrito, de ahí, quizá, su aspecto resignado. Esta obra ha tenido influencia en *Anaxágoras y Pericles* de A.-L. Belle (figura 4.2). Sócrates apunta al cielo, en una actitud similar a la de Platón en *La escuela de Atenas*, de Rafael Sanzio (figura 13.2).

Otra posibilidad que, como otras, solo se sostiene con argumentos débiles, es que Sócrates no quiso decir más que lo que dijo. Por alguna razón debía el gallo a Esculapio. Durante el último día de su vida, Sócrates se comportó como si se tratara de un día cualquiera. Lo pasó, como siempre, en conversaciones filosóficas. Su última frase no tenía que tener un significado especial. Sócrates se expresaba de manera clara; sus razonamientos podían ser complejos, pero no eran oscuros. No utilizaba acertijos como Heráclito.

Para Nietzsche, Sócrates era el paradigma de hombre teórico, filósofo y científico a la vez:

> se nos aparecerá como el primero que pudo no solo vivir, sino también (y es mucho más) morir en nombre de este instinto de la ciencia, y por esto la imagen de *Sócrates moribundo*, el hombre emancipado, por el saber y la razón, del miedo a la muerte, es el escudo de armas suspendido en el pórtico de la ciencia.

La emancipación por el saber y la razón está representada en el cuadro de David (figura 6.3) a través de la cadena en el piso con el grillete abierto.

7

TIEMPO Y MOVIMIENTO

El calendario de Metón

Sócrates no fue la única víctima de las sátiras de Aristófanes. En la obra de teatro *Las aves* llega el turno de Metón, astrónomo y matemático del siglo V a. C. El protagonista de la obra es un tal Pistetero que viaja hasta el reino de las aves y las convence de tener primacía sobre los dioses. Para recuperar el dominio universal las aves construyen una ciudad amurallada y aérea que impide la comunicación entre dioses y humanos, cuyos sacrificios ya no llegan al cielo. Pistetero se encuentra abocado a la fundación de la ciudad cuando es importunado primero por un poeta y luego por un adivino que buscan ser recompensados por sus servicios. Es entonces cuando Metón entra en escena, con Pistetero de mal humor:

> PISTETERO. Otro inoportuno. ¿Qué te trae aquí? ¿Cuáles son tus proyectos? ¿Qué te propones viniendo tan encopetado con tus coturnos?
> METÓN. Quiero medir las llanuras aéreas, y dividirlas en parcelas.
> PISTETERO. En nombre de los dioses, ¿quién eres?
> METÓN. ¿Quién soy? Metón, conocido en toda la Hélade y en la aldea de Colona.
> PISTETERO. Dime, ¿qué es eso que traes ahí?

METÓN. Reglas para medir el aire. Pues todo el aire, en su forma general, es enteramente parecido a un horno. Por tanto, aplicando por arriba esta línea curva y ajustando el compás... ¿Comprendes?

PISTETERO. Ni una palabra.

METÓN. Con esta otra regla trazo una línea recta, inscribo un cuadrado en el círculo y coloco en su centro el ágora; a ella afluirán de todas partes calles derechas, del mismo modo que del sol, aunque es circular, parten rayos rectos en todas direcciones.

PISTETERO. (...) voy a darte un buen consejo: márchate cuanto antes.

METÓN. ¿Qué peligro corro?

PISTETERO. Aquí, como en Lacedemonia, es costumbre expulsar a los extranjeros, y en toda la ciudad llueven garrotazos sobre ellos.

METÓN. ¿Es que, por acaso, estáis en revolución?

PISTETERO. No, ciertamente, por Zeus.

METÓN. ¿Qué ocurre entonces?

PISTETERO. Que hemos tomado por unanimidad la decisión de pulverizar a todos los impostores.

METÓN. En este caso, voy a largarme.

PISTETERO. Sí, por Zeus; y aún no sé si podrás escapar, pues aquí está ya la tormenta. (Le pega.)

METÓN. (Huyendo.) ¡Desdichado de mí!

PISTETERO. ¿No te lo decía hace tiempo? Vete con tus medidas a otra parte y bien lejos de aquí.

Metón es un personaje de segunda fila en la historia de la ciencia. La influencia de su trabajo, sin embargo, está presente hasta el día de hoy. Su calendario luni-solar, basado en el sistema babilonio, fue usado por judíos y cristianos para establecer las fechas de festividades, y está relacionado con el hecho de que, por ejemplo, la Pascua cristiana se festeje en días diferentes cada año. El calendario establece un período de 6 940 días que corresponde a 19 años (de $365 + 5/19$ días) o a 235 meses lunares (mes sinódico de $29 + 25/47$ días promedio). Tanto el sol como la lu-

na retornan a su posición inicial luego de un ciclo de Metón (no exactamente, pues hay una pequeña diferencia de alrededor de 2 horas). Por lo tanto, 235 ciclos o meses lunares de 29 o 30 días producen el ciclo metónico. Los ciclos lunares se usan para determinar la fecha de Pascua de una forma un tanto engorrosa. El mes lunar que tiene su día número 14 en o después del 21 de marzo es el mes de Pascua. La Pascua se festeja el domingo de la tercer semana de este mes.

Según la leyenda, Agamenón y Menelao recorrieron los reinos de Grecia convocando a sus aliados para la guerra de Troya. Llegaron a la isla de Ítaca, gobernada por el astuto Ulises, quien había sido advertido por un oráculo de que, si iba a Troya, retornaría solo y desamparado, sin sus compañeros y luego de veinte años de desventuras. Se cuenta que Ulises unció un caballo y un buey a un arado y, fingiendo locura, se puso a arar. Pero el truco no funcionó. Alguien tomó al hijo recién nacido de Ulises y lo puso delante del arado diciendo que dejara de fingir y se uniera a los aliados. Ulises no tuvo más remedio que ceder.

Existe una historia muy similar que involucra a Metón. Claudio Eliano, autor romano del siglo III, la cuenta de la siguiente manera:

> Metón el astrónomo, cuando los soldados atenienses se preparaban para una expedición contra Sicilia, estaba registrado entre ellos en el catálogo. Pero claramente previendo los desastres futuros, por el miedo rehuyó el viaje, proponiéndose dejar la expedición. Pero cuando eso no tuvo efecto, simuló locura, y entre otras cosas, para dar credibilidad a su dolencia, incendió su propia casa que estaba cerca de Poecile. A partir de entonces, los arcontes lo dejaron ir, y en mi opinión, Metón fingió locura mucho mejor que Ulises de Ítaca.

Plutarco cuenta que, según otras versiones, Metón no fingió locura sino que enloqueció de verdad, y que el objetivo fue salvar a su hijo de la expedición a Sicilia.

Aristóteles

Aristóteles nació en 384 a. C. en Estagira, Macedonia, al norte de Grecia. Su familia tenía relación con la monarquía macedonia. En 343 a. C., Filipo II lo convocó para que fuera el tutor de su hijo, Alejandro Magno. Más tarde, luego de veinte años de estudios en la Academia de Platón, fundó su propia escuela, el Liceo.

Aristóteles se dedicó al estudio de todo lo que pudiera estudiarse en su época. Acerca de la esencia del tiempo, se preguntaba

> ¿qué es el tiempo y cuál es su naturaleza? (...) se piensa que el tiempo es un cierto movimiento y un cierto cambio.

El calendario de Metón medía el tiempo en función del movimiento, en apariencia circular, de los astros más grandes desde la perspectiva terrestre: el Sol y la Luna. Aristóteles coincidía en que la unidad de medida del tiempo debía asociarse a un movimiento circular celeste:

> el tiempo es medido por el movimiento y el movimiento por el tiempo (...); por lo tanto, si lo que es primero es la medida de todas las cosas que le son congéneres, entonces el movimiento circular uniforme es la medida por excelencia, porque su número es el más conocido.

La relación entre tiempo y movimiento es, sin embargo, compleja:

> sólo hay cambio y movimiento en la cosa que está cambiando o allí donde se dé el caso que algo se mueva o cambie; pero el tiempo está presente por igual en todas partes y con todas las cosas. (...) Es, pues, evidente que el tiempo no es un movimiento. (...) Pero sin cambio no hay tiempo; pues cuando no cambiamos en nuestro pensamiento o no advertimos que estamos cambiando, no nos parece que el tiempo haya transcurrido. (...) Luego es evidente que el tiempo no es un movimiento, pero no hay tiempo sin movimiento.

El estudio del movimiento tenía una relevancia especial para Aristóteles:

> no podemos dejar de investigar qué es el movimiento; porque si ignorásemos lo que es, necesariamente ignoraríamos también lo que es la naturaleza.

En primer lugar, el movimiento debía ser eterno:

> es claro que el movimiento es eterno, y que no puede haber existido en un tiempo y no en otro. (...) Si se dice que primero hubo un reposo durante un tiempo infinito y que luego comenzó el movimiento en algún tiempo, y que es indiferente que comenzase en un tiempo o en otro anterior, y que además no había orden alguno, entonces no se puede decir que sea obra de la naturaleza. Porque lo que es por naturaleza, o tiene un modo de ser invariable y no es ahora de una manera y luego de otra (...), o su variación tiene una razón.

Existe cierta semejanza entre afirmar que el movimiento es eterno y lo que hoy se considera un principio fundamental de la naturaleza: la conservación de la cantidad de movimiento. A pesar de esta semejanza, sería quizá exagerado afirmar que Aristóteles logró intuir este principio fundamental por dos razones. Primero, no utilizaba el concepto actual de cantidad de movimiento de un cuerpo como el producto de su masa por su velo-

cidad. Y segundo, y más importante, en la conservación de cantidad de movimiento está implícito el principio de inercia, es decir, el hecho de que un objeto, libre de influencias externas, está en reposo o mantiene su movimiento a velocidad constante. La idea de que los objetos pudieran moverse por sí solos, por inercia, era inaceptable para Aristóteles. Consideraba que un cambio constante de posición requería una causa o fuerza constante. En este marco, resultaba difícil entender el movimiento de un objeto arrojado al aire como, por ejemplo, una flecha. ¿Cuál era la causa o la fuerza que mantenía la flecha en movimiento? La res-

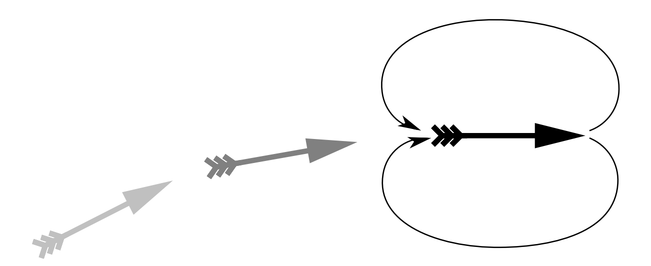


Fig. 7.1. Esquema de las ideas de Aristóteles acerca del movimiento de un proyectil. El aire por delante de la flecha debe ocupar el espacio vacío que deja detrás. Al ocuparlo, mantiene el impulso de la flecha hacia adelante.

puesta de Aristóteles resultó un poco extravagante. Decía que, al avanzar, la flecha desplaza una porción de aire justo enfrente que pasa a ocupar el espacio que deja vacío atrás. Cuando el aire ocupa ese espacio vacío detrás de la flecha, la impulsa hacia adelante. Como se verá en otro capítulo, uno de los mayores críticos de la física aristotélica fue Juan Filópono, de Alejandría (p. 220).

La teoría del movimiento de Aristóteles dice que la velocidad v de un objeto se comporta como el motor y es inversa a la resistencia. El motor es lo que hoy llamaríamos fuerza motriz,

F_M. La resistencia R, es la densidad del medio. Estas relaciones de proporcionalidad se expresan de forma anacrónica con una fórmula, que podemos llamar ecuación de Aristóteles:

$$v \propto \frac{F_M}{R}$$

donde '$\propto$' significa "proporcional a". Para un objeto en movimiento natural, es decir, sin influencias externas, la fuerza motriz es el peso. Aristóteles usó esta teoría como un argumento para descartar la existencia del vacío. El vacío tiene una densidad $R = 0$, lo que daría una velocidad infinita, y eso es absurdo, por lo tanto el vacío no existe. Si el vacío existiera, dice Aristóteles, no habría resistencia al movimiento y

> nadie podría decir porqué un cuerpo movido se detendrá en alguna parte. ¿Por qué aquí y no allá? Luego o tendrá que permanecer en reposo o se desplazará forzosamente hasta el infinito, a menos que algo más poderoso se lo impida.

Aristóteles se encuentra aquí a un paso del principio de inercia. Pero no lo da, y la inercia tuvo que esperar hasta la época de Galileo. No puede aceptar la posibilidad de que un cuerpo se mueva sin detenerse jamás, pues se restringe de forma exclusiva a las observaciones directas de la realidad, no toma en cuenta extrapolaciones a casos límite o ideales. Otro argumento es que un objeto arrojado en el vacío no podría moverse porque, como se mencionó antes, lo que mantiene su movimiento es el flujo del medio que se traslada de la parte delantera a la parte trasera del objeto, entonces el vacío no existe.

El error no está, por supuesto, en suponer la existencia del vacío, sino en el uso de la física aristotélica.

Desde la época de Galileo y Newton, la física aristotélica es vista como una gran equivocación. Consideremos dos medios, agua y aire, uno mil veces más denso que el otro. La teoría dice



Fig. 7.2. Aristóteles y Phyllis en una situación comprometida, según un grabado de 1513. La imagen ilustra el *Lay de Aristóteles*, una fábula del siglo XIII en forma de canción. Alejandro Magno descuida su instrucción y sus funciones políticas por el amor de una muchacha india llamada Phyllis. Aristóteles lo regaña (situación que no pudo haber sucedido pues no lo acompañó en sus campañas). Phyllis se venga tentando a Aristóteles, que termina cediendo a sus deseos, como se ve en la figura. La moraleja es que no se debe culpar a los amantes porque Eros nos domina a todos.

que un objeto caerá mil veces más rápido en aire que en agua. Pero un trozo de madera no cae a través del agua. Y éste es solo uno de los problemas. Aristóteles reconoce que hay situaciones en las que la proporcionalidad no se satisface. Se refiere a los casos en que la fuerza es demasiado pequeña como para iniciar el movimiento. Habla de una fuerza E que mueve un cuerpo B, y dice,

> Bien puede ocurrir que E no mueva de ninguna manera a B. Porque del hecho de que la totalidad de una fuerza cause una determinada cantidad de movimiento, no se sigue que la mitad de esa fuerza vaya a causar una cantidad proporcional de movimiento en un tiempo cualquiera; si así fuera, un hombre podría mover un barco.

La relación de proporcionalidad valdría, entonces, en los casos en que la fuerza es suficiente como para producir movimiento.

Existe una situación particular en la que la teoría funciona y la ecuación de Aristóteles, en parte, puede deducirse de las leyes de Newton. Cuando un objeto es dejado en caída libre aumenta su velocidad poco a poco hasta alcanzar lo que se conoce como velocidad límite. A partir de ese momento, el objeto cae a velocidad constante. Según Newton, la fuerza total sobre un objeto en reposo o que se mueve a velocidad constante es cero. Las fuerzas que actúan son el peso, que llamamos F_M, y la fricción del medio en que se mueve el objeto. La fricción es proporcional a la velocidad y se escribe γv, donde γ es una constante de proporcionalidad relacionada con la viscosidad del medio y con la forma del objeto. El peso actúa hacia abajo y la fricción se opone al movimiento, hacia arriba. Ambas deben tener la misma magnitud para cancelarse cuando se alcanza la velocidad límite:

$$\gamma v = F_M.$$

El resultado indica que la velocidad de caída es proporcional al peso, lo mismo que decía la ecuación de Aristóteles. La teoría de

Aristóteles deja de tener validez, incluso en este caso particular, si la densidad del objeto disminuye y la del medio aumenta hasta hacerse similares, pues entonces hay que tener en cuenta el empuje hacia arriba dado por el principio de Arquímedes, del que se hablará más adelante.

Los atenienses consideraron la supremacía macedonia, impuesta por Alejandro Magno, como una amenaza a su independencia. A la muerte de Alejandro, en 323 a. C., el sentimiento anti-macedonio se intensificó. Aristóteles sintió que la ciudad se había transformado en un lugar poco seguro para él. Optó por el exilio. Dicen que dijo "no dejaré que los atenienses pequen por segunda vez contra la filosofía", refiriéndose al juicio contra Sócrates, aunque también habría que contar el caso de Anaxágoras. Murió en la isla de Eubea al año siguiente, en 322 a. C. La historia de las ideas aristotélicas tiene cierto componente trágico adicional. Aristóteles no solo había practicado el pensamiento crítico con sus predecesores, también lo había estimulado en el Liceo. Ese antidogmatismo se manifiesta en el pensamiento de los sucesores en la dirección del Liceo. Teofrasto dudaba de que el fuego fuera un elemento básico, pues precisa un combustible para existir, y de la existencia del primer motor inmóvil, base de la cosmología aristotélica. Estratón se inclinó por el experimentalismo y terminó aceptando el vacío, que Aristóteles negaba, para explicar la condensación y rarefacción del aire. El pensamiento crítico es el motor de la ciencia; sin él, la ciencia se estanca. Aristóteles logró abarcar prácticamente todo el conocimiento de su época en el mundo occidental. Fue, quizá, el último ser humano capaz de hacerlo, a partir de entonces fue necesaria la especialización. Aristóteles se transformó en un prócer de la ciencia y el conocimiento, y los próceres no se critican. Su tragedia fue llegar a ser un símbolo del dogmatismo que había rechazado. El pensamiento aristotélico, transformado en dogma, fue un obstáculo para el avance de la ciencia durante la

Ir en busca de una explicación y admirarse, es reconocer que se ignora.

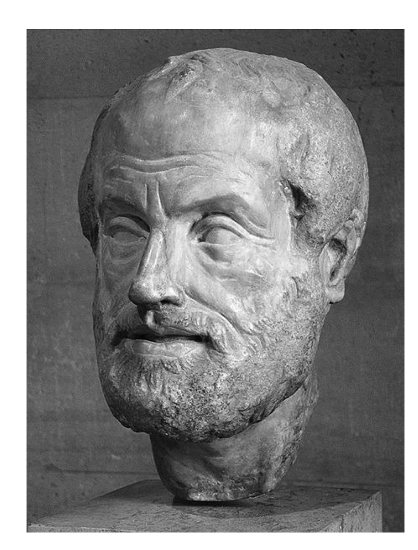


Fig. 7.3. Retrato de Aristóteles, copia de un original del siglo IV a. C.

Edad Media. La excesiva fama póstuma, que llevó a la aceptación acrítica de las ideas aristotélicas, se transformó luego en condena excesiva. Desde comienzos del siglo XVII, casi todo trabajo intelectual debía empezar con un ataque a Aristóteles.

Sus ideas acerca de la estructura del universo se describen en el capítulo siguiente.

Para terminar esta parte, cito un texto de Aristóteles en el que se refiere a la motivación que ha conducido a los seres humanos, durante toda su historia, a la ciencia y a la filosofía:

> Lo que en un principio movió a los hombres a hacer las primeras indagaciones filosóficas fue, como lo es hoy, la admiración. Entre los objetos que admiraban y de que no podían darse razón, se aplicaron primero a los que estaban a su alcance; después, avanzando paso a paso, quisieron explicar los más grandes fenómenos; por ejemplo, las diversas fases de la Luna, el

> curso del Sol y de los astros y, por último, la formación del Universo. Ir en busca de una explicación y admirarse, es reconocer que se ignora. (...)
> [L]as ciencias (...) tienen siempre su origen en la admiración o asombro que inspira el estado de las cosas; como, por ejemplo, (...) el asombro que inspiran las revoluciones del Sol o lo inconmensurable de la relación del diámetro con la circunferencia a los que no han examinado aún la causa. Es cosa que sorprende a todos que una cantidad no pueda ser medida ni aun por una medida pequeñísima.

Pero esto es solo lo que motiva el inicio del estudio. Lo mejor viene después, cuando se transita un camino de descubrimientos. Habla de una admiración contraria, la que se produciría cuando se descubre que es falso algo que se consideraba verdadero. Dice:

> lo mejor está al final (...). A este mejor (...) se llega por el conocimiento, porque nada causaría más asombro a un geómetra que el ver que la relación del diámetro con la circunferencia se hacía conmensurable.

8

ESFERAS CELESTES

Sabemos que la Tierra tiene forma aproximadamente esférica, de unos 40 000 km de circunferencia, que gira sobre su eje y que, además, gira alrededor del Sol. Todas estas ideas surgieron entre los griegos. La redondez de la Tierra se atribuye a Pitágoras. Heráclides Póntico decía que gira sobre sí misma. Eratóstenes midió su tamaño con precisión. Y Aristarco fue el primero en proponer un sistema heliocéntrico, en el que los planetas, incluida la Tierra, giran alrededor del Sol.

Contribuciones pitagóricas — el tamaño del Universo

En la Antigüedad, los cuerpos celestes que se observaban moviéndose en el cielo eran Mercurio, Venus, Marte, Júpiter, Saturno, el Sol, la Luna y la esfera de estrellas fijas. Los pitagóricos también incluían a la Tierra entre los cuerpos móviles. Motivados por la búsqueda de perfección matemática en la naturaleza, pensaron que debía haber un total de diez cuerpos celestes. Según Aristóteles,

> como la década parece ser un número perfecto, y que abraza todos los números, pretendieron que los cuerpos en movimiento en el cielo son diez en número. Pero no siendo visibles más que nueve, han imaginado un décimo, el Antictón.

El Antictón, o Antitierra, era un planeta esquivo. No era posible observarlo porque se encontraba siempre por debajo del horizonte. Para ver la Antitierra era necesario viajar a las lejanas y desconocidas antípodas de Grecia. Creían que en el corazón del Universo se encontraba el fuego central, en torno al cual todos los cuerpos celestes giran, incluido el Sol, cuya luz sería reflejo del fuego. La razón por la que ese fuego no se observa en forma directa es la misma por la que no vemos la Antitierra: es visible solo desde el hemisferio opuesto a Grecia.

Lo interesante de estas ideas es que los pitagóricos sacaron a la Tierra del centro inmóvil del Universo y la consideraron uno más de los cuerpos móviles, lo que más tarde abrió el camino al modelo heliocéntrico de Aristarco. Los pitagóricos, Aristarco, y mucho tiempo después también Copérnico, tuvieron que enfrentarse a la siguiente dificultad. Si la Tierra gira en torno a un centro, el aspecto del cielo estrellado debería ser distinto cuando se lo observa desde puntos opuestos de la órbita. Sin embargo, ninguna diferencia era visible. La razón es que las estrellas se encuentran a una distancia mucho mayor que el diámetro de la órbita terrestre. En la sección sobre Aristarco se hablará más sobre este tema.

Aristóteles cuenta que los pitagóricos pensaron que "no hay mayor dificultad en dar cuenta de los hechos observados según su opinión de que no habitamos en el centro, que según la opinión común de que la Tierra está en el centro". Una idea notable de los pitagóricos, que soluciona esa dificultad, es considerar no solo que el Universo es muy grande con respecto al diámetro de la órbita terrestre, sino que es infinito. El pitagórico Arquitas propuso el siguiente argumento:

> Si estuviera en el exterior, digamos en el cielo de las estrellas fijas, ¿podría extender mi mano o mi bastón hacia afuera o no? Suponer que no es absurdo (...). Podríamos entonces de la misma manera llegar a la parte exterior de eso otra vez, y así sucesivamente,

> haciendo la misma pregunta al llegar a cada nuevo límite; y si siempre hay un nuevo lugar hacia donde se puede tender el bastón, esto claramente implica extensión sin límite.

El argumento prueba que el Universo es ilimitado pero no sirve, en realidad, para probar que es infinito, pues existe la posibilidad de que, si posee cierta curvatura, sea finito y, a la vez, ilimitado. Esta situación, que ha podido apreciarse solo luego del desarrollo de la relatividad general de Einstein, se puede entender mejor al imaginar un Universo de solo dos dimensiones. Su forma podría ser la de una esfera; su superficie no tiene bordes o límites, pero es finita.

Aristóteles opinaba que el Universo es finito: "no hay nada además del Todo o el Universo, nada fuera del Todo; (...) el cielo es quizás el Todo". Más allá de los confines del cielo se pasaría a la inexistencia.

El conocimiento que hoy se tiene de la estructura del Universo ha crecido de manera extraordinaria durante el último siglo. Hoy sabemos que el Sol es una estrella más entre unos 300 000 millones de estrellas que forman nuestra galaxia. Que la luz le lleva alrededor de 100 000 años ir de un extremo al otro de la galaxia. Que hay aproximadamente 100 000 millones de galaxias en el Universo visible y que la distancia típica entre ellas es de unos 3 millones de años luz. Distancias imposibles de imaginar, pero no de medir. Existen regiones del Universo tan lejanas que su luz no llega hasta nosotros. Se ha estimado que el tamaño del Universo visible es de alrededor de 46 000 millones de años luz.

Sin embargo, con respecto a si el Universo es finito o infinito, aun no es posible afirmar cuál de los dos, Arquitas o Aristóteles, tiene razón. En ese aspecto permanecemos tan ignorantes como en la Antigüedad.

El sistema de Eudoxo y Aristóteles

Eudoxo de Cnido (c. 409 - c. 351 a. C.), astrónomo y matemático, fue discípulo de Platón en la Academia. Diógenes Laercio cuenta que era mantenido por un tal Teomedonte, médico, de quien era el favorito. Eudoxo era pobre y amaba mirar el cielo durante las noches estrelladas. El sitio que pudo alquilar cuando llegó a Atenas se hallaba alejado de la Academia. Cada día caminaba 11 kilómetros de ida y otros tantos de vuelta para asistir a las clases de Platón. Sus amigos juntaron dinero para que pudiera viajar a Heliópolis, en Egipto, y avanzar con sus estudios de matemática y astronomía. Y los estudios dieron buenos resultados.

Eudoxo propuso el primer sistema que daba una descripción matemática del movimiento de los planetas basándose en un conjunto de esferas con la Tierra en el centro. El sistema no solo es geocéntrico sino también homocéntrico, lo que significa que todas las esferas tienen su centro en la Tierra, a diferencia del sistema posterior de Claudio Ptolomeo (siglo II) en el que la Tierra también está quieta y en el centro del universo, pero las esferas no necesariamente tienen su centro en ella.

Según Eudoxo, la Luna se mueve en una esfera que rota en torno a la Tierra hacia el oeste, explicando su salida y puesta diaria. A ese movimiento se le suma el de otra esfera que rota hacia el este una vez por mes y que explica las fases de la Luna. Los planetas también tienen varias esferas asociadas a distintos movimientos. Siempre hay una que describe el movimiento diario de este a oeste. Otra se asocia al movimiento a través del zodiaco a lo largo del año. Lo extraño de ese movimiento es que no es uniforme. A veces el planeta parece detenerse, retroceder y luego avanzar de nuevo con respecto al fondo de estrellas fijas, un movimiento que requiere meses de observación. Hubo que agregar más esferas para esta retrogradación. El genio de Eudoxo se manifiesta en la forma en que logra combinar movimientos uni-

formes sobre esferas para reproducir el de los planetas. Heath escribió al respecto:

> ...producir las retrogradaciones de este modo teórico superponiendo rotaciones axiales sobre esferas fue un notable golpe de genio. No fue un logro geométrico menor, para esos días, demostrar el efecto de la hipótesis; pero esto no es nada en comparación con el poder especulativo que le permitió inventar las hipótesis que pudieran producir el efecto.

Para tener una idea de las dificultades a las que se refiere Heath, se debe hacer el siguiente ejercicio mental. Imaginemos un planeta que está engarzado en la superficie de una esfera invisible. La esfera gira sobre un eje y la trayectoria del planeta es simple: una circunferencia. El paso siguiente es más complejo. El eje de rotación de la esfera ahora cruza en dos puntos opuestos la superficie de otra esfera, dentro de la cual se encuentra. Esta segunda esfera también gira, y su eje de rotación tiene cierto ángulo con respecto al de la primera. Los puntos por los que pasa el eje de la primera esfera giran y describen círculos. La pregunta es ¿cuál es la trayectoria del planeta? Suponiendo que las esferas giran en sentidos opuestos y con el mismo período, Eudoxo demostró que la trayectoria del planeta es una curva con forma de "8" conocida como "hipopeda", como la que se ve en la figura 8.1. Hay que agregar el movimiento promedio del planeta con respecto al fondo de estrellas fijas con otra esfera más. Combinando este movimiento con las idas y vueltas de la hipopeda se tienen las retrogradaciones. Solo falta la esfera que corresponde a la rotación de la Tierra, que hace que todos los astros salgan por el este y se pongan por el oeste, y ya tenemos las cuatro esferas que usó Eudoxo para cada planeta.

A pesar de todo, el modelo no encajaba bien con las observaciones astronómicas. En siglos posteriores se fue modificando hasta llegar a la versión de Claudio Ptolomeo mencionada antes, que tuvo gran influencia en la ciencia islámica y europea.

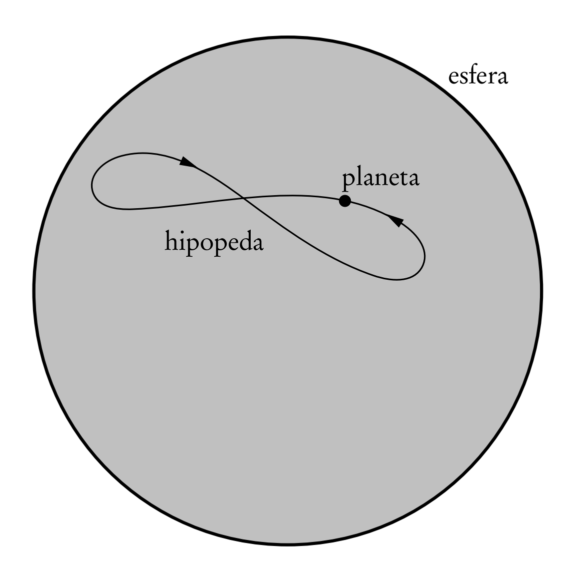


Fig. 8.1. Hipopeda, curva en forma de "8" que se genera por la combinación del movimiento de dos esferas.

Simplicio cuenta que Platón había planteado el problema de cómo representar el movimiento en apariencia caótico de los planetas en función de movimientos ordenados y uniformes, y que ése fue el punto de partida de Eudoxo. Investigaciones más recientes presentan argumentos en contra. No habría sido Platón, sino Pitágoras el que inspiró a Eudoxo en la realización de su teoría basada en esferas perfectas.

Eudoxo fue también el responsable de lo que se considera uno de los más grandes logros de la matemática griega. Se trata de la teoría de las proporciones, que permite generalizar al campo de los números irracionales algunos resultados matemáticos antes solo válidos para cantidades racionales. Sin embargo, luego del apogeo de la antigua ciencia griega, las contribuciones de Eudoxo fueron olvidadas. Su relevancia en la historia de

Schema huius præmissæ diuisionis Sphærarum.



Fig. 8.2. *Schema huius praemissae divisionis Sphaerarum* (Esquemas anteriores de la división de las esferas), 1524. Universo geocéntrico de Eudoxo y Aristóteles, con agregados medievales. El mundo sublunar consta de cuatro esferas elementales de fuego, aire, agua y tierra. El supralunar está formado por ocho esferas, las de los siete planetas, que incluyen a la Luna y el Sol, y la de las estrellas fijas. Hay dos esferas más, la última representa el primer móvil, envuelta por el "cielo empíreo, habitáculo de Dios y todos los elegidos". En el modelo de Eudoxo, cada círculo del diagrama representa, en realidad, varias esferas, cuyos movimientos combinados pueden reproducir de forma aproximada la retrogradación de los planetas.

la ciencia fue apreciada y reconocida recién hacia fines del siglo XIX.

La vida de Eudoxo, sin llegar a ser trágica, no careció de conflicto, en especial con su antiguo maestro Platón. Diógenes Laercio cuenta que, en un principio, Platón lo había despedido de la Academia. Eudoxo era un excelente matemático, y parece que no tenía buen concepto de Platón como tal. Luego de sus viajes volvió a Atenas rodeado de muchos discípulos, para dar envidia a Platón.

Estando en Menfis, Egipto, quiso saber su destino en un templo. Un buey, que representaba al dios Apis, le lamió el manto que usaba sobre su túnica. La lamida fue interpretada por los sacerdotes como una señal de que sería célebre. Pero el mensaje tenía dos caras, y una era de carácter infausto: moriría en poco tiempo. Según Diógenes Laercio, la profecía se cumplió, y Eudoxo murió a los 53 años sin tener la oportunidad de contradecir al buey Apis.

Unos dieciséis años antes de la muerte de Eudoxo, Aristóteles comenzaba sus estudios en la Academia de Platón. Adoptó el modelo de Eudoxo, con modificaciones de Calipo. Era la mejor descripción de los movimientos celestes que tenían entonces, pero Aristóteles pensaba que le faltaba algo. El modelo era casi puramente geométrico o matemático, y para Aristóteles el papel de la matemática en física era muy distinto del actual. Hoy es inconcebible hacer física sin usar el lenguaje matemático. Aristóteles, en cambio, afirmaba que

> No debe exigirse rigor matemático en todo, sino tan solo cuando se trata de objetos inmateriales. Y así, el método matemático no es el de los físicos; porque la materia es probablemente el fondo de toda la naturaleza. Ellos tienen, por lo mismo, que examinar ante todo lo que es la naturaleza.

Lo que faltaba al modelo de Eudoxo era la explicación de las cau-

sas naturales de los cambios que se observan en el cielo. Aristóteles modificó la teoría de la materia de Empédocles y agregó un quinto elemento: el éter, la quintaesencia inmutable y eterna que compone los cielos. Las esferas celestes dejaron de ser abstracciones geométricas para transformarse en objetos materiales hechos de éter y movidos por motores. Se trata de motores inmóviles, artefactos algo misteriosos capaces de mover sin ser movidos. Como se ve en la figura 8.2, el mundo sublunar está formado por los cuatro elementos. El supralunar está formado por el éter imperecedero y consta de ocho esferas, las siete de los planetas más la de las estrellas fijas. La vigencia que tuvo este modelo durante siglos se manifiesta, por ejemplo, en la obra de Dante Alighieri. Hacia el final de la *Divina Comedia* (c. 1306), Dante, siguiendo a su adorada Beatriz, se transforma en algo trascendente y se eleva por los cielos atravesando las esferas. Al llegar a la octava, Beatriz le pide que que mire hacia abajo, hacia la lejana Tierra. Dante logra imaginar en los siguientes versos el aspecto insignificante que la Tierra tendría desde la última esfera:

> Con la vista retorné por todas cuantas
> las siete esferas, y vi a este globo
> tal, que sonreí de su apariencia villana.

Heráclides Póntico

Heráclides Póntico (c. 390 - 310 a. C.) nació, como lo indica su nombre, en Heraclea Póntica, colonia griega sobre la costa del Mar Negro, en el norte de lo que hoy es Turquía. Fue miembro de la Academia de Atenas y estuvo a cargo de ella durante un viaje de Platón.

Creía, como Eudoxo, que la Tierra está en el centro del universo. Su importancia en la historia de la astronomía reside en haber propuesto que la Tierra gira sobre su eje y que esta rotación es la que produce el movimiento aparente de los astros de

este a oeste. La hipótesis simplifica el sistema de Eudoxo, pues ahora unas cuantas esferas usadas para representar el movimiento de este a oeste se pueden eliminar. La idea es un buen ejemplo de cómo, usando la simplicidad como guía, se puede perfeccionar una teoría. Pero no tuvo éxito. El modelo de Claudio Ptolomeo considera la Tierra estática, de acuerdo con la percepción inmediata y la intuición; el suelo que uno pisa parece quieto. Fue el sistema que se impuso en la Antigüedad hasta la época de Copérnico y Galileo.

Heráclides tenía un sobrenombre. En lugar de Pontikos, lo llamaban "Pompikos", que significa "pomposo". Vestía ropas finas y suaves. Era majestuoso y extremadamente corpulento.

Según O'Connor y Robertson, las historias sobre su muerte no son del todo creíbles, pero sirven para tener una idea acerca de su personalidad. Las distintas versiones, mencionadas por Diógenes Laercio, indican cierta propensión al engaño.

Heráclides había regresado a su tierra natal. Hallándose cercano a la muerte, encargó a un confidente que, luego de que muriera, escondiera su cadáver y lo reemplazara por una serpiente que había criado. La intención era simular una naturaleza divina y una transformación milagrosa. Llegó el momento de su muerte y el entierro. Cuando llevaban lo que creían su cuerpo, la serpiente salió de entre las ropas y asustó a muchos. Nadie, sin embargo, cayó en el engaño.

La otra versión es diferente, pero muestra cierta coherencia con la anterior en lo que se refiere a la personalidad de Heráclides y al poco éxito de sus artimañas. La región de Heraclea se hallaba asolada por el hambre. Se decidió consultar a la pitonisa. Heráclides sobornó a los consultores, y también a la pitonisa, para que dijeran que el remedio a las desgracias llegaría cuando lo coronaran con corona de oro y que, cuando muriera, lo honraran como héroe. La coronación se llevó a cabo en un teatro. Heráclides no llegó a disfrutar de su nueva situación;

murió enseguida por una apoplejía. Los consultores y la pitonisa también murieron en aquel momento, lo que hace pensar en un castigo del dios del oráculo. Es de suponer que Heráclides no fue honrado como un héroe luego de su muerte. La historia tampoco cuenta si, finalmente, el problema de la hambruna fue resuelto.

Aristarco

La idea de Heráclides acerca de la rotación de la Tierra para explicar el movimiento de los astros no fue desestimada por todos. Aristarco de Samos (c. 310 - c. 230 a. C.) la tuvo en cuenta. Pero Aristarco fue más lejos. No solo creyó que la Tierra gira sobre su eje, sino que también gira en torno al Sol. De este modo se explica el movimiento de este a oeste de los astros y también, como se verá más adelante, la retrogradación de los planetas.

Así lo cuenta Arquímedes:

> Aristarco de Samos sacó un libro que consta de algunas hipótesis, en el que las premisas conducen al resultado de que el universo es muchas veces mayor de lo que ahora así llamamos. Sus hipótesis son que las estrellas fijas y el Sol permanecen inmóviles, que la Tierra gira alrededor del Sol en la circunferencia de un círculo, el Sol yace en el centro de la órbita...

Si la Tierra gira alrededor del Sol, a lo largo del año debería ser posible observar cambios en la posición de las estrellas más cercanas con respecto a las más lejanas. Este cambio de posición se llama paralaje y fue mencionado antes al hablar sobre las contribuciones de los pitagóricos. El paralaje de las estrellas no era observable en la Antigüedad, solo puede detectarse con telescopios modernos. El comentario de Arquímedes permite especular que, al no observar paralaje, Aristarco dedujo que el universo era mucho más grande y las estrellas estaban mucho más lejos de



Las estrellas fijas y el Sol permanecen inmóviles, la Tierra gira alrededor del Sol.

Fig. 8.3. Retrato imaginario de Aristarco, del siglo XVII. La esfera con el Sol en el centro representa su sistema del universo.

lo que se imaginaba. Se trata de una especulación, porque lo que haya escrito Aristarco sobre heliocentrismo se ha perdido y solo nos han llegado las breves referencias de otros autores.

Continuando con las especulaciones, es de suponer que Aristarco debió haber notado la capacidad del modelo heliocéntrico para resolver el complicado problema de la retrogradación de los planetas. El problema se reduce a una cuestión de perspectiva, como se ve en la figura 8.4. Se supone que las órbitas son circulares, que la rotación de cada planeta en torno al Sol sucede a rapidez constante y que, por ejemplo Marte, se mueve más lentamente que la Tierra. En el momento en que la Tierra pasa por el punto más cercano a Marte, como la Tierra se mueve a mayor rapidez, Marte parece retroceder. Los puntos sobre la órbita en la figura representan distintas posiciones de la Tierra, y las correspondientes a Marte, a lo largo de varios meses.

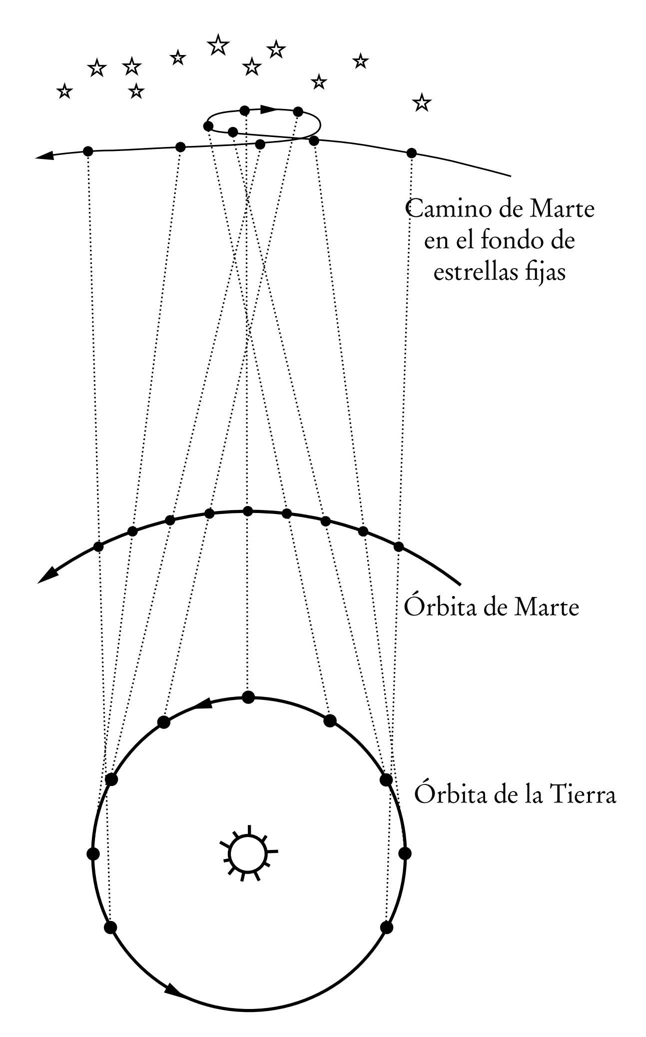


Fig. 8.4. Esquema del modelo heliocéntrico propuesto por Aristarco, y llevado a la fama por Copérnico. Se muestran las órbitas de la Tierra y Marte, y el camino aparente que realiza Marte desde la perspectiva de la Tierra.

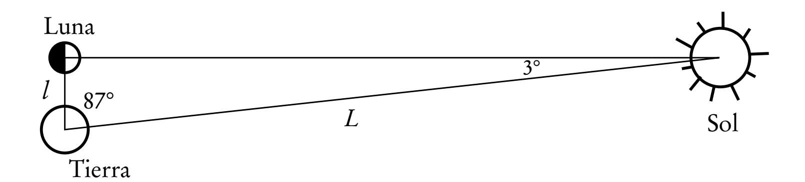


Fig. 8.5. Diagrama usado por Aristarco para determinar la relación entre la distancias l y L. (Los ángulos no están representados a escala real).

El único trabajo de Aristarco que ha sobrevivido se titula *Sobre tamaños y distancias del Sol y la Luna*. No habla sobre el sistema heliocéntrico sino sobre cómo medir la distancia y el tamaño del Sol en función de la distancia y el tamaño de la Luna. Lo notable del método es que demuestra la posibilidad de acceder, con cálculos simples, a mediciones astronómicas en apariencia imposibles. Llamemos l a la distancia Tierra-Luna y L a la distancia Tierra-Sol, como se indica en la figura 8.5. Aristarco considera la situación en la que la Luna está iluminada justo por la mitad. En este caso Tierra, Luna y Sol están en los vértices de un triángulo rectángulo. Midiendo el ángulo entre el Sol y la Luna se obtiene una relación entre l y L. Aristarco midió 87°, de modo que el otro ángulo, el más pequeño, debe ser de 3°. Usando notación moderna, tenemos que $\text{sen}\, 3° = l/L$, por lo tanto, $L \simeq 20\, l$. En realidad, la distancia al Sol es unas 400 veces mayor que la distancia a la Luna. El método de Aristarco es correcto, pero el resultado final no lo es por errores en la medición del ángulo y por la dificultad en determinar el momento justo de la iluminación media de la Luna. Lo importante es que demostró el enorme poder del enfoque matemático en la resolución de problemas astronómicos.

El sistema heliocéntrico fue un avance hacia la simplicidad, pues permite eliminar varias esferas del sistema geocéntrico de Eudoxo o del de Claudio Ptolomeo. Sin embargo, durante siglos, incluso después de Copérnico, la no observación de paralaje ha sido usada como argumento en contra del sistema heliocéntrico y a favor del geocéntrico, y no para intuir el inmenso tamaño del universo, como hizo Arquímedes.

Si hubo resistencia en mover la Tierra sobre su eje, la hubo aún más en sacarla del centro del universo. Hubo quienes lo consideraron una herejía, como menciona Plutarco en un diálogo en el que se habla de un proceso de impiedad

> como el que deseaba Cleantes que los griegos hicieran con Aristarco de Samos, so pretexto de que éste alteraba la esencia del cosmos porque pretendía salvar los fenómenos aduciendo la hipótesis de que el cielo permanece fijo en tanto que la Tierra orbita en giros oblicuos y al mismo tiempo rota sobre su propio eje.

El "antiguo Copérnico" es el nombre que usa Heath (1913) para referirse a Aristarco de Samos. Copérnico, en su libro *De las revoluciones de las esferas celestes*, menciona a Aristarco como uno de sus predecesores en el sistema heliocéntrico. Es un hecho curioso, señala Heath, que luego Copérnico haya suprimido ese pasaje. Otros no lo olvidaron. Melanchthon (1549), líder de la reforma luterana, criticó con dureza a Copérnico y a Aristarco:

> Por amor a la novedad o con el fin de hacer una exhibición de su inteligencia, algunas personas han argumentado que la Tierra se mueve. (...) Estas bromas no fueron inventadas recientemente. Aún hay un libro existente de Arquímedes, *El contador de arena*, en el que informa que Aristarco de Samos propuso la paradoja de que el Sol permanece quieto y que la Tierra gira alrededor del Sol. A pesar de que sutiles expertos instituyen muchas investigaciones en aras

> del ejercicio de su ingenio, sin embargo, la proclamación pública de opiniones absurdas es indecente y establece un ejemplo perjudicial.

Podemos imaginar a Aristarco respondiendo con la legendaria frase de Galileo: "sin embargo, se mueve".

Eratóstenes

Eratóstenes (276 - 195 a. C.) vivió en Alejandría y trabajó en la famosa Biblioteca, en el templo de las Musas llamado "el Museo".

La forma en que logró calcular el tamaño de la Tierra es un ejemplo notable de cómo es posible llegar a un resultado asombroso usando medios e instrumentos simples. No es necesario tomar fotografías satelitales ni medir la circunferencia de la Tierra recorriéndola paso a paso, solo una pequeña porción de ella y la sombra de una estaca. Eratóstenes sabía que, en el solsticio de verano, en la ciudad de Siena (hoy Asuán, en Egipto), la luz del sol del mediodía caía vertical y llegaba hasta el fondo de un pozo profundo. En Alejandría, más al norte de Siena, no sucedía lo mismo: al mediodía una estaca proyectaba cierta sombra. Midiendo la sombra y la altura de la estaca podía obtener el ángulo con que incidía la luz del sol con respecto a la vertical: 1/50 de la circunferencia. Como se ve en la figura 8.6, este ángulo es el mismo que la diferencia de latitud entre Siena y Alejandría. Eratóstenes conocía la distancia entre Siena y Alejandría: 5 000 estadios. La cuenta que tenía que hacer ahora era simple. Si a un ángulo de 1/50 de circunferencia le corresponden 5 000 estadios, a la circunferencia completa le corresponde $50 \times 5\,000 = 250\,000$ estadios. Luego corrigió este resultado a 252 000 estadios. Solo falta hacer un cambio de unidades para tener la distancia en kilómetros. Y aquí hay un inconveniente, porque no está claro si Eratóstenes usaba el estadio ático, de 185 m, o el egipcio, de

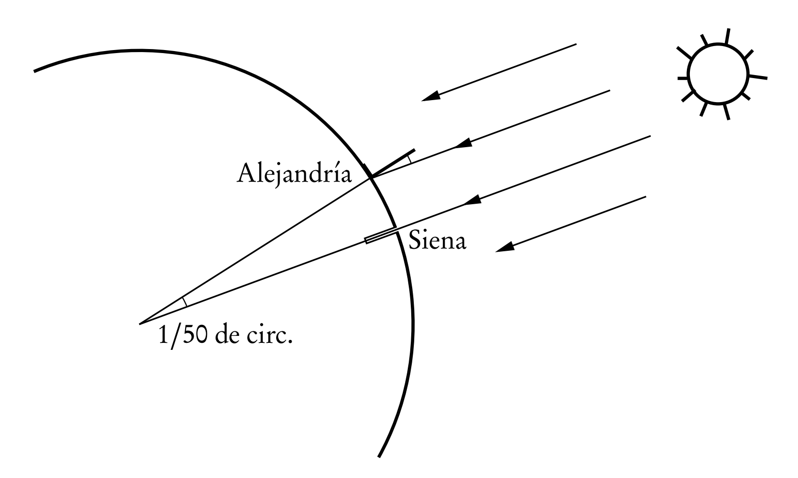


Fig. 8.6. Esquema de la medición de Eratóstenes. El ángulo de la estaca en Alejandría, con respecto a los rayos del sol, es el mismo que la diferencia de latitud entre Alejandría y Siena: 1/50 de circunferencia.

157,5 m. En el primer caso se obtiene que la circunferencia de la Tierra tiene 46 620 km (un error de 17 % sobre el valor conocido hoy), en el segundo, tiene 39 690 km (solo 1 % por debajo del valor conocido). En cualquier caso, el error es pequeño. En el segundo caso es notablemente pequeño.

Eratóstenes había hecho todo bien, y obtuvo un valor para la circunferencia de la Tierra con notable precisión. Pero en cierto sentido no tuvo suerte. Unos 150 años después, Posidonio rehizo los cálculos con un método similar y obtuvo un valor bastante menor. Claudio Ptolomeo, otro alejandrino que se cree que trabajó en el Museo, adoptó ese valor como el verdadero y fue el que se difundió a través de los siglos. Se trató de un error que tuvo enorme influencia en el desarrollo de la historia, pues Cristóbal Colón lo usó para justificar la viabilidad de llegar a las Indias navegando hacia el oeste. Hoy, dos mil trescientos años

La circunferencia de la Tierra es de 252 000 estadios.

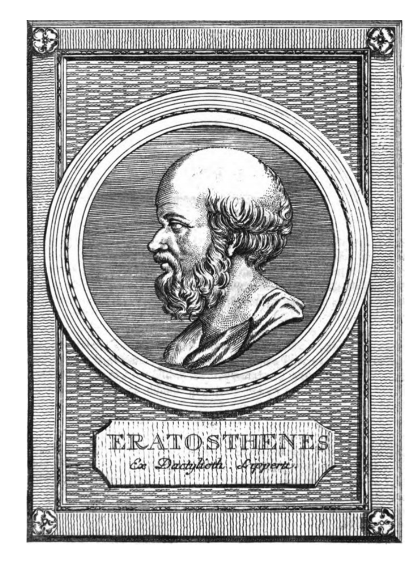


Fig. 8.7. Eratóstenes, retrato del siglo XVIII.

después, la idea de Eratóstenes se reproduce en las escuelas de Argentina y otros países de América como un ejemplo de lo que se puede hacer con pocos instrumentos y mucho ingenio (ver nota al final sobre Proyecto Eratóstenes).

Claudio Ptolomeo le atribuye haber medido, también con gran precisión, el ángulo de inclinación del eje de la Tierra. Eratóstenes es considerado el fundador de la geografía. Fue el primero en dar la explicación correcta a las crecidas del Nilo, debidas a las lluvias en la región de sus fuentes. También se destacó en el estudio de problemas matemáticos, como la duplicación del cubo o la búsqueda de números primos. Pappus de Alejandría (siglo IV) se refiere a un trabajo de Eratóstenes como uno de los grandes libros de la geometría. Con respecto a la astronomía, se dice que compiló un catálogo de 675 estrellas. Escribió sobre ética y también un poema titulado *Hermes*, inspirado en

astronomía.

Sus contemporáneos lo reconocían como alguien versado en todas las áreas del conocimiento, que no se destacaba en ninguna. Lo llamaban "Beta", la segunda letra del alfabeto griego, pues era el segundo mejor en casi todo. Se dice que, a los 80 años, se dejó morir de hambre al notar que se estaba quedando ciego.

Claudio Ptolomeo

A pesar de sus ventajas para describir el movimiento de los astros, el sistema heliocéntrico de Aristarco no tuvo éxito, como lo indica el hecho de que sus libros se hayan perdido pues las copias no proliferaron. El argumento más fuerte en contra no fue, quizá, el carácter blasfemo de la teoría, sino las consecuencias físicas en apariencia absurdas. Como señala Claudio Ptolomeo (c. 90 - c. 168 d. C.), si la Tierra girara sobre su eje, veríamos que un objeto arrojado hacia arriba se desplazaría hacia el oeste pues, mientras dura su vuelo, el suelo se movería hacia el este. La idea de inercia, que resuelve esta aparente paradoja, no se estableció hasta el siglo XVII.

Ptolomeo fue un ciudadano greco-romano que vivió en Alejandría. Propuso el modelo geocéntrico del universo que tuvo enorme influencia hasta el siglo XVI. Su obra principal, el *Almagesto*, es la culminación de la astronomía griega, basada en modelos geométricos de órbitas circulares en contraste con la astronomía babilonia que durante siglos se basó en el registro de datos y en la búsqueda de periodicidades. Ptolomeo contó con una ventaja importante: tuvo a su disposición los trabajos de Hiparco de Nicea (c. 190 - c. 120 a. C.) y de Aplononio de Perga (c. 262 - c. 190 a. C.). Hiparco es considerado por algunos como el más grande astrónomo de la Antigüedad. Desarrolló la trigonometría, compuso el primer catálogo exhaustivo de estrellas de Occidente y descubrió la precesión de los equinoccios,



Sé que soy de naturaleza mortal y efímero, pero cuando trazo a mi gusto las ondulaciones de los cuerpos celestes, ya no toco la tierra con mis pies. Estoy ante la presencia del mismo Zeus.

Fig. 8.8. Retrato imaginario de Ptolomeo, 1584. Sostiene, en forma anacrónica, una vara de Jacob, usada en Europa para mediciones astronómicas desde el siglo XIII. A la derecha, una cita del *Almagesto*.

entre otros logros. Apolonio se destacó por su trabajo en secciones cónicas (ver p. 206) y, más importante para Ptolomeo, por la explicación del movimiento aparente de los planetas usando órbitas excéntricas o la combinación de deferente y epiciclo, de la que se hablará en los párrafos que siguen.

Ptolomeo debió hacer uso de algunas complicaciones para adaptarse a las observaciones astronómicas. El movimiento medio de los planetas, que no tiene en cuenta la retrogradación, se representa con un punto sobre una órbita circular llamada deferente. Aunque el modelo es considerado geocéntrico, el centro de esta órbita no está exactamente en la Tierra, sino a cierta distancia dada por la excentricidad. El planeta se encuentra sobre otra órbita llamada epiciclo. El movimiento en el epiciclo da cuenta de la retrogradación que, como se vio antes, el sistema de

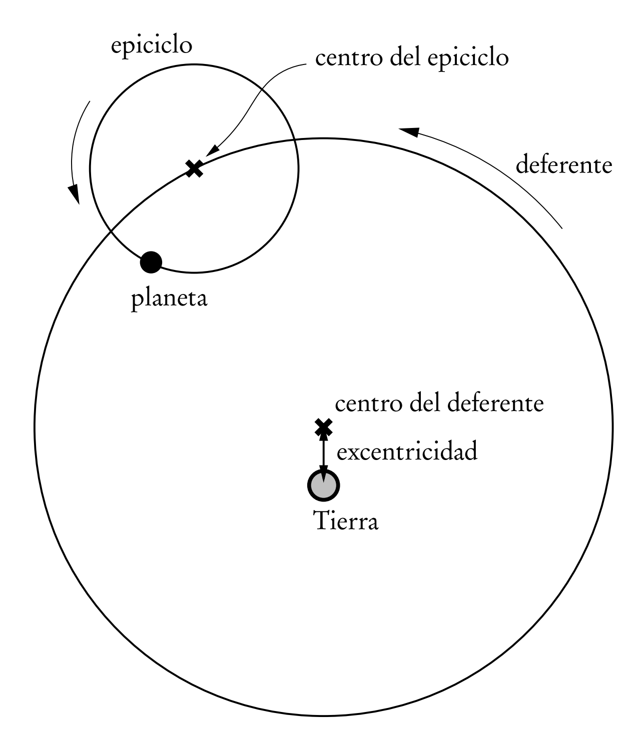


Fig. 8.9. Elementos básicos del modelo de Ptolomeo para describir el movimiento de un planeta. Un punto imaginario, el centro del epiciclo, gira en una órbita circular llamada deferente con el centro algo desplazado respecto a la Tierra. El planeta se mueve sobre el epiciclo. La idea del epiciclo ya había sido usada antes por Apolonio de Perga (siglo III a. C.) y por Hiparco (siglo II a. C.).

Aristarco podía explicar de manera más simple como un efecto de perspectiva (figura 8.4). La combinación de los movimientos del deferente y el epiciclo da lugar a una trayectoria con bucles como la que se puede dibujar con una rueda dentada que se hace girar por la parte interior de una circunferencia también dentada. Es necesario fijar los parámetros como la excentricidad, y el radio y el período de epiciclo y deferente, a través de observaciones y cálculos de complejidad tal que no muchos podían reproducir. Una vez fijados los parámetros, el modelo permite realizar predicciones precisas de la posición de los planetas. Se ha omitido mencionar varios detalles que agregan complejidad como, por ejemplo, la determinación de la dirección del radio del epiciclo, con respecto a la dirección del Sol, y la velocidad de rotación del deferente, que no es constante.

La figura 8.10 muestra la trayectoria aparente de los planetas interiores, Venus y Marte. Los bucles de las trayectorias producen puntos de máximo acercamiento a la Tierra. Este aspecto del modelo explica el cambio de las distancias entre los planetas y la Tierra a medida que se mueven en sus órbitas.

Casi nada se sabe de la vida de Ptolomeo. Las historias medievales que lo conectan con la dinastía ptolemaica no tienen más fundamento que la similitud de los nombres. Algunos investigadores se basaron en sus obras para intentar sondear algún indicio de su personalidad. Descubrieron algunas cosas. Nada bueno. El título original de su obra principal es *Mathematiké syntaxis* (*Compendio matemático* o *de astronomía matemática*). Se conoció luego como *Megiste syntaxis* (*Compilación máxima*) y, al ser traducida al árabe en 827, se transformó en *Al-majisti*. Según R. R. Newton (1977), el *Almagesto* alcanzó lo máximo en un sentido diferente: fue "el más exitoso fraude en la historia de la ciencia". En su libro *El crimen de Claudio Ptolomeo*, muestra que gran parte de los resultados astronómicos se obtuvieron por cálculo y no por observaciones directas, con el objeto de hacer-

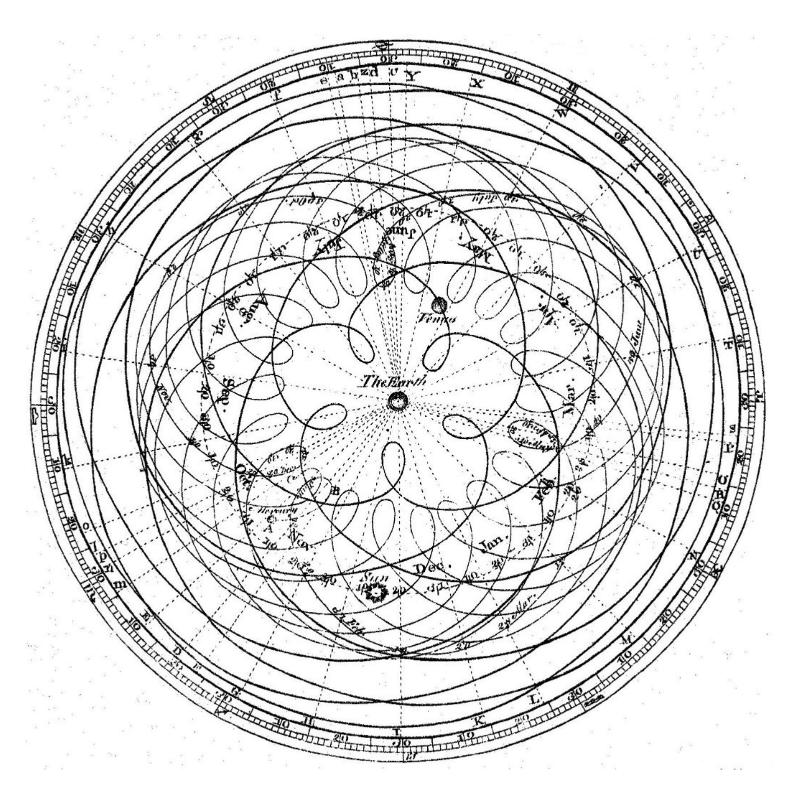


Fig. 8.10. Ilustración de 1777 que muestra el movimiento aparente de los planetas en el modelo geocéntrico de Ptolomeo. El esquema presenta las trayectorias de solo dos planetas, los interiores o más cercanos al Sol, Mercurio y Venus durante 7 y 8 años respectivamente.

los coincidir con las predicciones del modelo. El tema ha resultado polémico entre los especialistas y mucho se ha escrito sobre él durante las últimas décadas. H. Thurston, historiador de la ciencia, destaca que mucho antes, a principios del siglo XIX, el astrónomo francés Delambre presentó una "prueba devastadora e irrefutable de que Ptolomeo mintió acerca de sus 'observaciones' de los equinoccios y solsticios".

A pesar de tratarse de un sistema geocéntrico, a pesar de las complicaciones y de los datos fraudulentos, el modelo de Ptolomeo fue la mejor representación matemática del movimiento de los astros hasta fines del siglo XVI. Aunque el modelo de Aristarco o Copérnico, de órbitas circulares centradas en el Sol, fuera mejor en cuanto a simplicidad y significara un progreso en la comprensión de los aspectos físicos, el de Ptolomeo aún tenía la capacidad de realizar predicciones más precisas y fue superado solo por las órbitas elípticas de Kepler.

Ptolomeo quizá merezca una opinión más favorable que la que se desprende de los párrafos anteriores. Reproduzco la de G. Toomer, autor de una traducción al inglés del *Almagesto*,

> Como trabajo didáctico el *Almagesto* es una obra maestra de claridad y método, superior a cualquier texto científico antiguo y con pocos equiparables de cualquier período. Pero es mucho más que eso. Lejos de ser una mera "sistematización" de la astronomía griega anterior, como a veces se lo describe, es en muchos aspectos un trabajo original. Sin minimizar la deuda de Ptolomeo con Hiparco (que el mismo Ptolomeo admirablemente reconoce), podríamos decir con confianza que el trabajo pionero de Hiparco habría tenido muy poco efecto de no hallar su terminación en el *Almagesto*. El sistema ptolemaico lleva en efecto el nombre de la persona adecuada.

Luego agrega



Fig. 8.11. Ptolomeo observa el cielo junto a la musa de la astronomía, grabado de 1508. La representación de Ptolomeo como un rey en textos medievales es una manera de expresar su preeminencia en astronomía o una afiliación errónea a la dinastía egipcia de los ptolomeos.

> Su trabajo es notable por su combinación de conocimiento, inventiva, discernimiento y claridad. La autoridad que alcanzó en varios campos no es sorprendente.

Además de astronomía, los campos científicos en los que se destacó son geografía, óptica y teoría musical. También hay un campo seudocientífico en el que tuvo gran influencia: la astrología.

9

EL DETERMINISMO DE CRISIPO

El sabio es inmune a los infortunios; la virtud es suficiente para la felicidad. Así pensaban los estoicos. Los miembros de esta escuela filosófica se reunían en el pórtico, o *stoa poikilê* (porche pintado), del ágora en Atenas. Sostenían que las emociones como el temor, la envidia, el desenfreno sexual, o el amor apasionado, surgen de un error de juicio, pues solo debe interesarnos lo que tenga que ver con la virtud, lo demás es secundario o irrelevante. El sabio no se somete a las emociones, aunque tampoco afirma que deba prescindirse de ellas.

Crisipo

La escuela estoica fue fundada por Zenón de Citio (c. 333 - 262 a. C.), y su seguidor más influyente fue Crisipo de Solos (c. 279 - c. 206 a. C.). "Sin Crisipo no habría Stoa", decía Diógenes Laercio.

La física de los estoicos es, como la de los epicúreos, materialista pero, a diferencia de ellos, creían que la materia era continua y podía dividirse indefinidamente. También creían que los dioses eran materiales pero, en lugar de permanecer ocupados en disfrutar de su felicidad ajenos a los afanes humanos, eran inmanentes a toda la creación y dirigían su evolución hasta el más mínimo detalle. Como Aristóteles, rechazaron el vacío y usaron

la teoría de los cuatro elementos de Empédocles. El universo se crea y se destruye por fuego en conflagraciones periódicas a nivel cósmico. El alma humana, compuesta de *pneuma*, es material y está sujeta también a procesos de creación y destrucción. Crisipo decía que el sabio tiene una ventaja: a diferencia del resto de los mortales, su alma no perece hasta la próxima conflagración. Un epicúreo consideraría arbitrario este privilegio, que parece surgir de un momento de debilidad. Tiene, sin embargo, cierto fundamento dentro de las ideas de los estoicos. Igualaban virtud y conocimiento con cierta firmeza o tensión del pneuma que compone el alma que, quizá, le permitiría perdurar luego de la muerte.

Lógica, física y ética están entrelazadas en el pensamiento de Crisipo. Decía que todo sucede por causas anteriores. La evolución del universo está completamente determinada por estas causas. El determinismo de Crisipo surge de un problema lógico. Según una interpretación de los textos de Aristóteles, no es posible decir si una afirmación que se refiere a un evento futuro es verdadera o falsa. Por ejemplo, "mañana habrá una batalla naval" no es verdadera ni falsa hasta que llegue el día de mañana. Crisipo no estaba de acuerdo. Para él, cualquier tipo de afirmación, o proposición, es verdadera o falsa. Si la proposición se refiere a eventos futuros, su valor de verdad ya está determinado, solo que no lo sabemos. Crisipo decía:

> ...aquello que no tiene causas que lo provocan no será ni verdadero ni falso. Mas como toda proposición es o bien verdadera o bien falsa, se concluye que no hay ningún movimiento sin causa. Si esto es así, todas las cosas que ocurren, ocurren por causas previas. Si esto es así, todas las cosas ocurren por el destino. Así se sigue de esto que cualesquiera cosas que ocurran, ocurren por el destino.

Cicerón distinguía este destino del de la superstición:

> nada va a suceder de lo que la naturaleza no contenga causas actuantes que produzcan eso mismo. Esto hace inteligible que el destino debe ser no el 'destino' de la superstición, sino el de la física.

En el fragmento siguiente, Crisipo no distingue, como hace Cicerón, entre el destino de la física y el de la superstición:

> las predicciones de los adivinos no podrían ser ciertas si todas las cosas no estuvieran abarcadas por el destino.

Aquí surge el problema ético, pues si todo está determinado de antemano, ¿qué se ha hecho de la libertad y responsabilidad humanas? Alguien podría afirmar que no es culpable de actuar de manera deshonesta pues solo se comporta de acuerdo con lo establecido por el destino, que no puede modificar. Podemos encontrar un ejemplo en Agamenón, rey de Argos que, según la *Ilíada*, condujo a las fuerzas griegas durante la guerra de Troya. Agamenón había cometido un error al quedarse con una esclava de Aquiles, el más grande héroe griego que, ofendido, se había negado a seguir combatiendo. Cuando se reconciliaron, Agamenón se disculpó diciendo:

> Muchas veces los aqueos me han increpado por lo ocurrido, y yo no soy el culpable, sino Zeus, el Hado y la Furia, que vaga en las tinieblas; los cuales hicieron padecer a mi alma, durante la junta, cruel ofuscación el día en que le arrebaté a Aquiles la recompensa. Mas ¿qué podía hacer? La divinidad es quien lo dispone todo.

En la Odisea, Zeus se lamenta de este tipo de actitud:

> ¡De qué modo culpan los mortales a los dioses! Dicen que las cosas malas les vienen de nosotros, y son ellos quienes se atraen con sus locuras infortunios no decretados por el destino.

Según Crisipo, no es relevante el hecho de que sea posible o no actuar de manera diferente, de todos modos nuestros actos acarrean una responsabilidad moral. Estos problemas dieron lugar a profundas discusiones acerca del significado del libre albedrío y de la posibilidad de tomar decisiones en un mundo determinista que continúan hasta el día de hoy.

El determinismo de Crisipo establece que todo sigue una ley natural. Según Laplace (1814), esa ley natural es la mecánica newtoniana: una mente que conociera la posición y velocidad de cada partícula del universo sería capaz de calcular todo el pasado y futuro. La teoría del caos pone un límite a la capacidad predictiva de la mecánica newtoniana, pero también es determinista. El comportamiento caótico, en apariencia aleatorio, que se observa en algunos sistemas está determinado por causas anteriores. La mecánica cuántica del siglo XX da, en cambio, una descripción probabilística de lo que sucede a nivel microscópico. O sea, permite calcular la probabilidad de encontrar una partícula en un dado lugar y tiempo, pero no predice dónde estará exactamente. Solo tenemos probabilidades. Desde un punto de vista físico, el debate no está cerrado, pues existe una teoría alternativa a la mecánica cuántica, la onda piloto de de Broglie, que es determinista y que produce las mismas predicciones de mediciones experimentales; es decir, hasta el momento no ha sido posible determinar, con un experimento, cuál de las dos es la correcta. En resumen, aún no se puede afirmar que el universo se comporte de manera determinista o probabilística. Cualquiera de los dos casos, sin embargo, trae problemas a la realización del libre albedrío, un tema complejo que no se seguirá desarrollando aquí pues, como dijo Mencken, la cuestión "es oscura, misteriosa y no poco aterradora".

Crisipo creó un sistema de lógica proposicional. Define las proposiciones, en general, como sentencias que pueden ser verdaderas o falsas. Las proposiciones pueden conectarse entre sí para crear otras más complejas. Las proposiciones simples "es

Si no perdiste una cosa, la tienes; no perdiste los cuernos, luego los tienes.

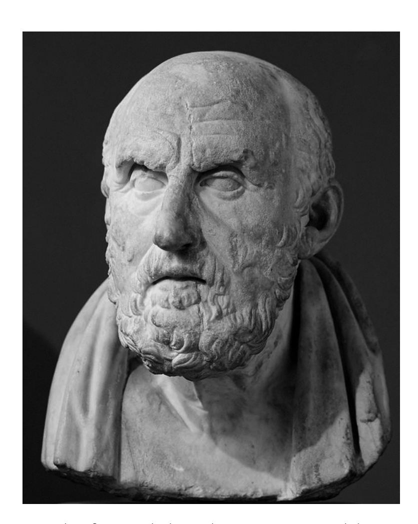


Fig. 9.1. Notable retrato de Crisipo, de fines del siglo III a. C., el busto es una copia romana posterior; y un silogismo citado por Diógenes Laercio.

de día" y "hay luz", pueden combinarse utilizando un conector lógico, por ejemplo: "si es de día, entonces hay luz".

Diógenes Laercio cita un silogismo, no siempre falaz, de Crisipo:

> Si no perdiste una cosa, la tienes; no perdiste los cuernos, luego los tienes.

Luciano, en su subasta de doctrinas antes mencionada, incluye el siguiente diálogo entre un comprador y Crisipo, que hace alarde de su destreza en la confección de silogismos:

> CRISIPO. Mira, ¿una piedra es un cuerpo?
> COMPRADOR. Sí.
> CRISIPO. Bien, ¿y un animal es un cuerpo?
> COMPRADOR. Sí.
> CRISIPO. ¿Y tú eres un animal?

COMPRADOR. Supongo que lo soy.
CRISIPO. Por lo tanto eres un cuerpo. Por lo tanto una piedra.
COMPRADOR. Piedad, ¡en nombre del cielo! Deshazme de piedra, y déjame ser carne como hasta ahora.
CRISIPO. Eso se hace enseguida. ¡De vuelta contigo en carne! Así: ¿es todo cuerpo animado?
COMPRADOR. No.
CRISIPO. ¿Una piedra es animada?
COMPRADOR. No.
CRISIPO. Ahora, ¿tú eres un cuerpo?
COMPRADOR. Sí.
CRISIPO. ¿Un cuerpo animado?
COMPRADOR. Sí.
CRISIPO. Entonces, siendo animado, no puedes ser una piedra.
COMPRADOR. ¡Ah! gracias, gracias. Estaba empezando a sentir mis miembros cada vez más insensibles y solidificándose como los de Niobe. Oh, debo tenerte. ¿Qué hay que pagar?

Las citas anteriores pueden dar la impresión de que Crisipo usaba sus conocimientos de lógica para divertirse. Quizá fue así, pero también es cierto que su contribución representó un avance importante con respecto a la lógica aristotélica que estas citas no alcanzan a reflejar. Permaneció ignorado durante mucho tiempo. Su sistema de lógica proposicional se ha vuelto a valorar recién en el siglo XX.

Alrededor de un siglo y medio antes de Crisipo, Demócrito había planteado el siguiente problema. Se tiene un cono y se lo corta a lo largo de un plano paralelo a su base. El corte da lugar a dos superficies circulares. La pregunta de Demócrito es: ¿son iguales o distintas? Supongamos que son iguales. En este caso el cono estaría formado por una sucesión de superficies iguales, pero eso no forma un cono, sino un cilindro. Enton-

ces supongamos que son distintas. Ahora, al volver a juntar las partes, habría un pequeño escalón en la unión, la superficie del cono no sería lisa. Ninguna de las dos respuestas parece correcta. En el planteo del dilema está implícito el atomismo de Demócrito, que lo aplica no solo a la naturaleza sino también a objetos geométricos abstractos, pues imagina una sucesión de cortes, o tajadas, cuyo espesor es atómico, o sea, no puede volver a cortarse. El atomismo fue motivo de debate entre epicúreos y estoicos. La respuesta de Crisipo fue: "las superficies no son iguales ni desiguales". Estas palabras se han interpretado como un anticipo de un concepto del cálculo infinitesimal: la convergencia a un límite. O sea, tajadas sucesivas tienen superficies que, aunque distintas, tienden a ser iguales en el límite en que su espesor se hace infinitamente pequeño. En este sentido son iguales y distintas a la vez. No fue ésta la interpretación de Plutarco, que usó las palabras de Crisipo citadas antes en su crítica a los estoicos, presentándolas como un absurdo; también escribió un texto titulado *Los estoicos dicen más disparates que los poetas*. Un análisis más profundo de este dilema y de la respuesta de Crisipo puede hallarse en Hahm (1972).

El lado oscuro

Ahora lo interesante: el lado oscuro de Crisipo. Los biógrafos de la Antigüedad, al mismo tiempo que valoran su pensamiento, tratan su personalidad de manera poco favorable. Lo presentan como plagiador, soberbio, usurero, borracho y obsceno.

Se dice que Crisipo escribió más de 700 libros, y que escribía 500 líneas por día. Pero que no todo era suyo, y que una vez incluyó toda la *Medea* de Eurípides en un libro. Apolodoro de Atenas decía que, si se quitara lo ajeno de los libros de Crisipo, las hojas quedarían en blanco.

Conversaba modestamente y con serenidad en privado. Cuando el público se acercaba cambiaba su actitud y empezaba a contender elevando la voz. Tenía una buena opinión de sí mismo, decía: "si yo supiera que alguno me excede, me iría a estudiar con él". Diógenes Laercio lo acusa de soberbio y despreciador, y da un motivo que hoy parece débil: "pues habiendo escrito tantas obras, ninguna dedicó a un rey".

Escribió una historia atrevida en su libro *De los filósofos antiguos*, cuyos protagonistas son Hera y Zeus. Diógenes Laercio dice que se trata de una "obscenísima historia, (...) más propia de meretrices que de dioses". Lamentablemente, como sucedió con casi toda la obra de Crisipo, el texto se ha perdido.

Luciano, en una parte de su diálogo ficticio, se refiere a la usura:

> COMPRADOR. Ahora dime, ¿cuál es el fin de tu filosofía? ¿Qué sucede cuando logras el objetivo de la virtud?
>
> CRISIPO. Con respecto a las cosas externas, salud, riqueza, y similares, soy todo lo que la Naturaleza entendió que fuera. Pero antes hay mucho esfuerzo que padecer. Primero deberás aguzar tu vista en diminutos manuscritos, acumular comentarios, y obtener un amplio repertorio de términos extravagantes. Por último pero no menos importante, está prohibido ser sabio sin repetidas dosis de eléboro.
>
> COMPRADOR. Todo esto es elevado y magnánimo en grado sumo. Pero, ¿qué debo pensar cuando encuentro que también eres la doctrina del cien por ciento, la del usurero? ¿Se ha tragado él su eléboro? ¿Es él perfecto en virtud?
>
> CRISIPO. Por cierto. En nadie más que en el hombre sabio la usura sienta bien. Reflexiona. Su arte es el de juntar dos y dos, y la usura es el arte de juntar interés. Los dos están evidentemente conectados, y uno tanto como el otro es la prerrogativa del verdadero creyente; quien, no contento, como el hombre común,

con el interés simple, tomará también interés *sobre* interés. Pues el interés, como estás probablemente al tanto, es de dos tipos. Está el interés simple, y está su vástago, el interés compuesto. Escucha el silogismo sobre el tema. "Si tomo interés simple, debo tomar también el compuesto. Pero *debo* tomar interés simple, por lo tanto debo tomar el compuesto".

COMPRADOR. ¿Y lo mismo se aplica a las cuotas que cobras a tus jóvenes discípulos? ¿Nadie más que el verdadero creyente vende virtud por un precio?

CRISIPO. Muy cierto. Cobro la cuota por el interés de mi alumno, no porque lo quiera. El mundo está hecho de difusión y acumulación. En consecuencia, entreno a mi alumno en la primera, y yo en la última.

COMPRADOR. Pero debería ser al revés. El alumno debería acumular, y tú, "millonario único", deberías difundir.

CRISIPO. ¡Ja! ¿Te burlas de mí?

Luego sigue la parte en que Crisipo transforma al comprador en piedra, citada antes. Aunque en teoría los estoicos rechazan la riqueza, algunos lograron fortunas. Luciano atribuye a Crisipo la fama de usurero de otros estoicos conocidos: Marco Bruto, el mismo que participó en el asesinato de Julio César, y el político, orador y escritor Séneca. De Marco Bruto se decía que era un hombre de altos principios, aún más altos que sus intereses. Séneca obtuvo gran parte de su riqueza prestando dinero en la Britania romana; sus altos intereses fueron una causa, entre otras, de revueltas.

Cuando Crisipo bebía vino, se quedaba quieto, solo movía las piernas. Su sirvienta decía que "no se embriagaba otra cosa que las piernas". Tenía setenta y tres años cuando, durante unos sacrificios, tomó mucho vino dulce, le dio mareos y unos días después murió. Como sucede con otros, ésta no es la única versión de la muerte de Crisipo. Hay una mejor. Dicen que murió de risa. Cuando se dio cuenta de que un asno había comido

sus higos, le dijo a su sirvienta: "Da de tomar vino puro al asno para que baje los higos". La situación le produjo tanta risa que le dio un ataque y murió.

10

UN HOMBRE CONTRA UN EJÉRCITO

Se mencionó antes que, según Heródoto, un eclipse predicho por Tales logró poner fin a una guerra. Fue inevitable, sin embargo, que los conocimientos científicos y técnicos fueran más requeridos para desarrollar guerras que para detenerlas. Aineias Tacticus (activo entre 370 - 350 a. C.) es el más antiguo autor sobre asuntos militares. Escribió un libro con métodos para defender una ciudad sitiada. Demetrio Poliorcetes, "el sitiador" (c. 337 - 283 a. C.), uno de los sucesores de Alejandro Magno, utilizó arietes de 50 m y torres de nueve pisos con catapultas capaces de arrojar proyectiles de 50 kg. En c. 250 a. C., Filón de Bizancio escribió un *Tratado de Mecánica* en el que aplica conocimientos físicos y matemáticos a la construcción de autómatas, dispositivos neumáticos, artillería, catapultas y fortalezas; se supone que se ganaba la vida como consejero en asuntos militares.

Hacia el siglo III a. C. los generales tenían claro que debían aprovechar los efectos asombrosos de las máquinas. Las catapultas y ballestas, con complejos mecanismos de disparo y hasta de carga automática, eran lo más sofisticado de la tecnología helénica.

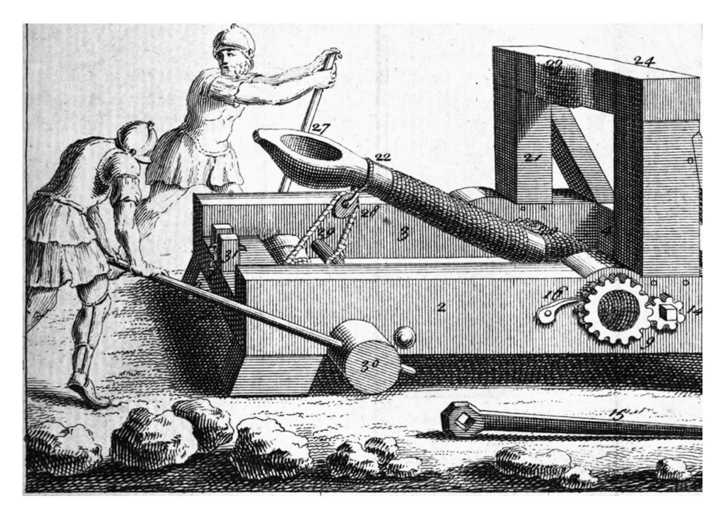


Fig. 10.1. Un modelo de catapulta utilizado en la antigüedad, según una ilustración de 1768.

Arquímedes

El primer capítulo del libro de Asimov *Momentos estelares de la ciencia* (1984), relata de manera épica la historia de un hombre, anciano ya, que enfrentó al ejército romano. El ejército más poderoso del mundo se vio detenido en su avance, durante dos años, por el científico más grande de la Antigüedad: Arquímedes de Siracusa (c. 287 - c. 212 a. C.). Aunque estuvo a punto de vencer, la fuerza de los romanos terminó imponiéndose. Pero dejaremos para el final de este capítulo el relato del sitio de Siracusa, la descripción de las extraordinarias máquinas de guerra de Arquímedes y la crónica de su terrible muerte.

Es posible que, durante su juventud, Arquímedes haya estudiado en Alejandría, donde se encontraban los astrónomos

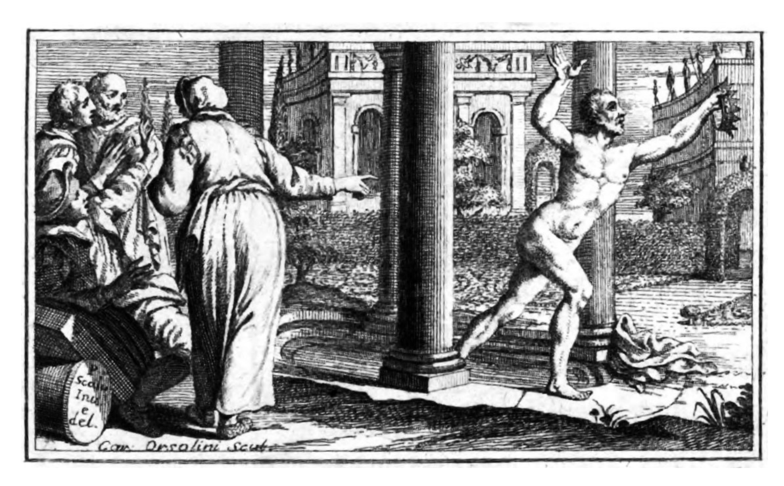


Fig. 10.2. Arquímedes corre desnudo por las calles de Siracusa, con una corona de oro no del todo puro en la mano y gritando "¡eureka!, ¡eureka!". Ilustración del siglo XVIII.

y matemáticos Conon de Samos y Eratóstenes de Cirene. En uno de sus textos se refiere a Conon como su amigo.

Su anécdota más conocida, con sabor a leyenda, es la de la corona de oro encargada por Hierón II, tirano de Siracusa. Según Vitruvio, Hierón tenía la sospecha de que el orfebre había reemplazado algo de oro por plata. Encargó a Arquímedes averiguarlo, pero sin fundir la corona que, aunque tuviera plata, era bonita.

La densidad de la mezcla de oro y plata es algo menor que la de oro puro. Si había fraude, el volumen de la corona sería algo mayor que el de un peso igual de oro. El problema era cómo medir ese volumen con la precisión suficiente. Tuvo la idea mientras tomaba un baño. Si sumergía la corona en agua, en un recipiente lleno hasta el borde, la cantidad de agua desplazada tendría el mismo volumen, que podría medir sin problemas.

Salió corriendo por las calles de Siracusa gritando "¡eureka!" ("lo encontré"). Se supone que la gente no se escandalizó, pues estaban acostumbrados a ver griegos desnudos, al menos pintados en las vasijas. Sin embargo, la ilustración del siglo XVIII, que se muestra en la figura 10.2, da a entender que se produjo cierto tumulto.

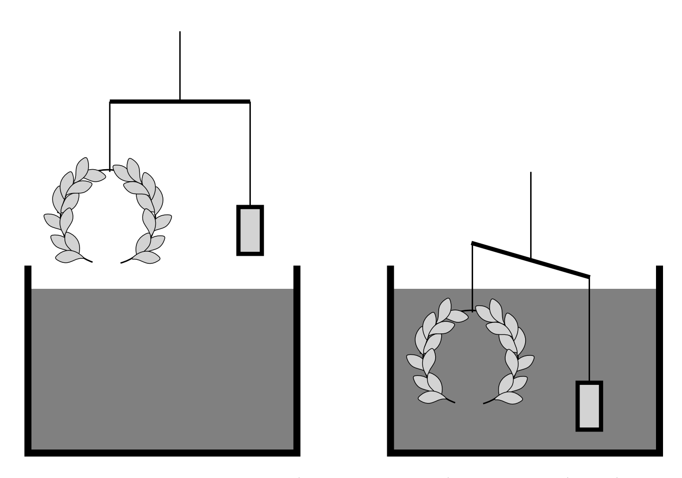


Fig. 10.3. Experimento para determinar si la corona dorada tiene el mismo volumen que un peso igual de oro. Si se desequilibra, como se ve a la derecha, no lo tiene, y está hecha de una aleación con otro metal.

Mucho tiempo después, Galileo descubrió que esta historia tenía un problema. En teoría el método funciona, pero en la práctica no tiene la precisión suficiente para medir una diferencia de densidad pequeña. Galileo consideró probable que Arquímedes usara un método distinto basado en su principio de flotación: todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del fluido desalojado. Se sumerge la corona en agua, equilibrada con un peso igual de oro, como se ve en la figura 10.3. Si el volumen de la corona es

mayor que el del bloque de oro, experimentará un empuje hacia arriba mayor, y se desequilibrará. Lamentablemente para el orfebre, esto fue lo que dicen que sucedió.

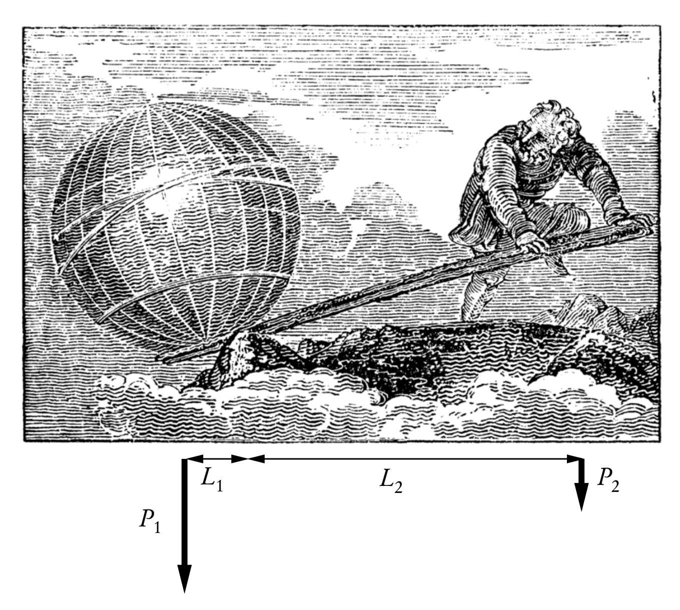


Fig. 10.4. "Denme un punto de apoyo y moveré el mundo". El equilibrio se logra si $P_1L_1 = P_2L_2$. (Ilustración de *Mechanic's Magazine*, 1824.)

En su trabajo *Sobre el equilibrio de los planos*, Arquímedes explica el funcionamiento de la palanca: dos cuerpos están en equilibrio a distancias recíprocamente proporcionales a sus pesos. En otras palabras, si P_1 y P_2 son los pesos sobre los extremos de una vara a distancias L_1 y L_2 del punto de apoyo, estarán en equilibrio si $P_1L_1 = P_2L_2$, como se ve en la figura 10.4. Arquímedes fue más allá de postular la ley de la palanca: la dedujo partiendo de ideas básicas. Estas ideas incluyen, por ejemplo,

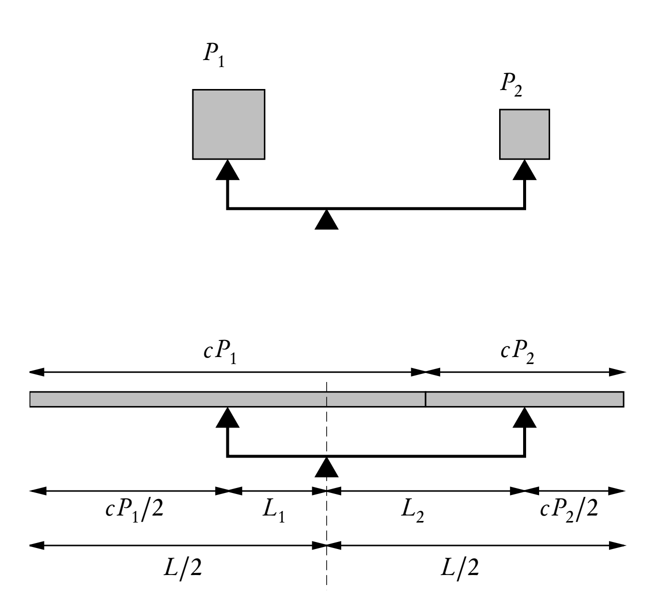


Fig. 10.5. El problema de la palanca, planteado por Arquímedes, es determinar dónde debe ubicarse el punto de apoyo inferior que sostiene a ambos pesos, P_1 y P_2, o, en otras palabras, cómo se relacionan las longitudes de los brazos de palanca, L_1 y L_2, con los pesos cuando todo está en equilibrio. Los cuerpos se transforman en varillas de longitudes cP_1 y cP_2, y juntas forman una varilla de longitud L. El punto de apoyo debe estar en su centro.

que un cuerpo de cierto peso estará en equilibrio si la fuerza que lo sostiene pasa por su centro de gravedad, y que el centro de gravedad de un cuerpo homogéneo está en su centro geométrico. Los razonamientos de Arquímedes fueron aproximadamente como sigue. En la parte superior de la figura 10.5 se presenta el problema. Se tienen dos pesos, P_1 y P_2, en los extremos de una palanca. Se desea saber dónde debe ubicarse el punto de apoyo inferior para que todo esté en equilibrio. Arquímedes propone deformar los cuerpos hasta transformarlos en varillas que se to-

can en sus extremos, como se ve en la parte inferior de la figura. Las varillas tienen longitudes proporcionales a sus pesos, cP_1 y cP_2, y están apoyadas en su punto medio para mantenerlas en equilibrio. El valor de la constante de proporcionalidad c no tiene importancia en esta deducción. Ambos cuerpos forman una varilla de longitud $L = cP_1 + cP_2$. Para mantener en equilibrio esta gran varilla de longitud L, su centro debe estar justo por encima del punto de apoyo inferior. De la figura 10.5 puede deducirse que

$$L_1 = c\,P_2/2 \quad \text{y} \quad L_2 = c\,P_1/2.$$

Combinando ambas ecuaciones se obtiene la relación buscada entre pesos y brazos de palanca: $P_1L_1 = P_2L_2$.

En otro trabajo Arquímedes analizó el área y el volumen de una esfera y de un cilindro de la misma altura y diámetro, de modo que la esfera encaja justo dentro del cilindro. Demostró que la relación entre los volúmenes y las áreas de esfera y cilindro es, en ambos casos, 2/3. Estaba orgulloso de este resultado y pidió que una esfera y un cilindro fueran puestos en su tumba. Hoy produce aún más admiración un método al que él no dio tanta importancia. Se trata del método para calcular áreas o volúmenes dividiendo un objeto geométrico en secciones muy finas, infinitamente finas, y sumando el área o volumen de cada una de las secciones. Newton y Leibnitz se basaron en esta idea para desarrollar, mucho tiempo después, el cálculo infinitesimal.

Sitio a Siracusa y muerte de Arquímedes

La primera guerra púnica entre Roma y Cartago surgió por un conflicto entre Siracusa y los mamertinos de Mesina. Siracusa recibió el apoyo de los cartagineses y Mesina el de los romanos. Se produjo una escalada bélica entre romanos y cartagineses en la que Siracusa quedó del lado de Cartago.

Parte de la muralla de Siracusa daba al mar, desde donde la flota romana intentó atacar en 213 a. C. Se dice que Arquímedes mejoró la potencia y precisión de las catapultas, y que también inventó armas por completo novedosas. Una de ellas fue la garra de hierro, un aparato que causó terror entre la flota romana. Según historiadores antiguos, se trataba de una gran grúa con un gancho de metal. Se lanzaba el gancho, como si la grúa fuera una gran caña de pescar. Al atrapar una nave, era capaz de elevarla por encima del agua, al menos en forma parcial. Luego la dejaba caer. La nave golpeaba el agua o las rocas cercanas a la muralla, y volcaba o se hundía por los daños. El arma fue tan efectiva que los romanos tuvieron que abandonar el plan de una invasión por mar e iniciaron un largo sitio. En la figura 10.6, el artista de 1600 ha tomado en forma literal el nombre garra de hierro, olvidando que la nave era elevada por un gancho unido a una larga cadena. A pesar de las exageraciones de relatos posteriores, hoy se supone que el arma existió; ver, por ejemplo Rorres y Harris (2001) o Young (2004).

Otra idea atribuida a Arquímedes fue el rayo de calor producido por espejos incendiarios, o espejos ustorios. Esta arma parece estar más cerca de la leyenda que la garra de hierro. Se ha intentado reproducirla en varias ocasiones, con resultados diversos. La pintura de la figura 10.7 ilustra el relato tradicional en el que un espejo cóncavo concentra la luz en el casco del barco y lo incendia. Se supone que el arma consistía, en realidad, en un gran número de espejos planos. Los espejos eran superficies de bronce o cobre pulido. Se requiere gran coordinación y precisión para que todos los espejos concentren la luz del sol en un punto lejano y móvil. Si los siracusanos, dirigidos por Arquímedes, no lograron incendiar los barcos usando espejos, al menos lograron fastidiar a los tripulantes.

A pesar de estos esfuerzos, luego de dos años de sitio Siracusa cayó. Livio (siglo I a. C.) cuenta que

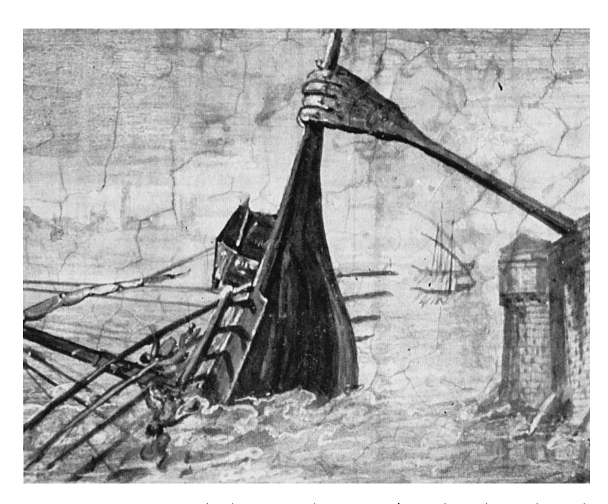


Fig. 10.6. Mano o garra de hierro de Arquímedes, hundiendo los barcos que atacaban las murallas de Siracusa. La nave era levantada, en realidad, por un gancho unido a una larga cadena. Mural de G. Parigi, 1600.

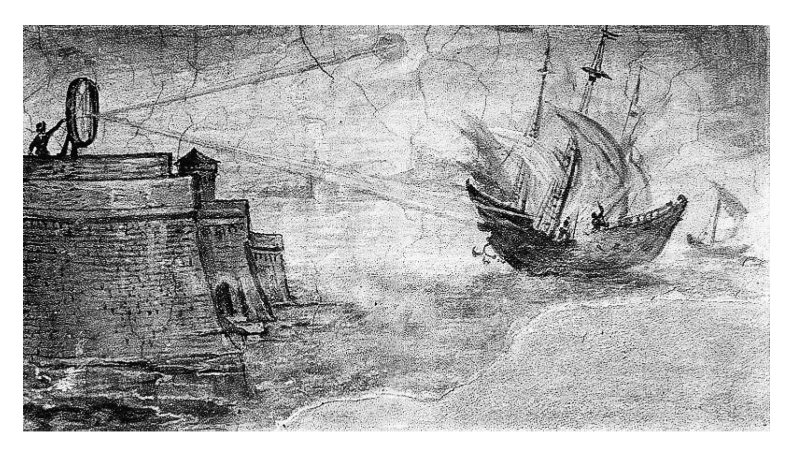


Fig. 10.7. El espejo de Arquímedes, el arma legendaria para incendiar los barcos de los romanos. Mural de G. Parigi, 1600.

> La ciudad fue entregada a las tropas para saquear a su antojo, luego de que fueran apostados guardias ante las casas de los exiliados que habían estado en las lineas romanas. Muchas brutalidades se cometieron en sangre caliente y por avidez de ganancias.

Según el relato que reproducen varios historiadores de la Antigüedad, Arquímedes contemplaba un diagrama matemático mientras la ciudad era tomada. Un soldado romano le ordenó acompañarlo para presentarse ante el general Marcelo. Arquímedes se negó, y dijo que debía terminar un problema. Según Valerio Máximo (siglo I), dijo: "te ruego, no perturbes esto". El soldado lo mató con su espada. El relato usa la imagen popular del científico abstraído en sus elucubraciones. Sin embargo, es difícil imaginar que alguien que se había preocupado como él en la defensa de la ciudad permaneciera impasible mientras alrededor todo se derrumbaba. Plutarco da otra versión menos conocida:

> Todavía hay acerca de esto otra relación, diciéndose que Arquímedes llevaba a Marcelo algunos instrumentos matemáticos, como cuadrantes, esferas y ángulos, con los que manifestaba a la vista la magnitud del Sol, y que dando con él los soldados, como creyesen que dentro llevaba oro, le mataron. Como quiera, lo que no puede dudarse es que Marcelo lo sintió mucho, que al soldado que le mató de su propia mano le mandó retirarse de su presencia como abominable, y que habiendo hecho buscar a sus deudos los trató con el mayor aprecio y distinción.

Podemos imaginar que Arquímedes era consciente de que la ciudad estaba siendo saqueada. También sabía que su fama podía salvarle la vida. Amaba su trabajo y sus instrumentos; si abandonaba su casa, los perdería para siempre. No se quedó contemplando diagramas matemáticos. Tomó lo que pudo entre lo que



Fig. 10.8. Caída de Siracusa y muerte de Arquímedes dibujando círculos en el suelo, ilustración del siglo XVIII.

consideraba más valioso y salió a la calle. Y encontró su final en la espada de un soldado romano.

Según Cicerón (siglo I a. C.), Marcelo conservó una de las esferas de Arquímedes como su único botín. En *De re publica*, presenta un diálogo ficcional en el que Galo explica el funcionamiento del aparato:

> Cuando Galo movió el globo, ocurrió que la Luna siguió al Sol tantas vueltas en ese invento de bronce como en el cielo mismo, por lo que también en el cielo el globo solar llegó a tener ese mismo alejamiento, y la Luna llegó a esa posición en la cual estaba su sombra sobre la Tierra, cuando el Sol estaba en línea.

Se trataba de una representación mecánica a escala del universo conocido, un planetario. Se supone que Arquímedes explicó cómo construir este tipo de aparatos en un manuscrito hoy perdido, titulado *Sobre hacer esferas*. Pudo haber sido algo similar al complejo mecanismo de Antiquitera, del siglo II a. C. Artefactos

de tal complejidad no volvieron a verse en Europa hasta el siglo XIV.

Un tenue reflejo de la personalidad de Arquímedes puede intuirse a través de los trabajos que se han conservado. Algunas veces, los temas que elegía tenían orientación hacia lo asombroso como, por ejemplo, el cálculo del número de granos de arena que caben en el universo. En varias introducciones a sus trabajos, Arquímedes menciona "enunciados" enviados con anterioridad. Se trataba de desafíos que enviaba a sus contemporáneos para ponerlos a prueba. En un caso manifiesta cierto espíritu jovial al introducir un enunciado falso, con la intención de importunar a los destinatarios y moverlos a probar su falsedad.

11

MUJERES ANTIGUAS

Aglaonike

Aglaonike (o Aglaonice) vivió en Tesalia, Grecia, en fechas inciertas, se supone que entre los siglos V y II a. C. Es considerada la primera mujer astrónoma. La escasa información que ha perdurado sobre Aglaonike indica que sus contemporáneos la consideraban una hechicera que poseía un poder oculto asignado por tradición a algunas mujeres tesalias: la capacidad de ocultar la Luna a voluntad. Poseía el conocimiento, posiblemente adquirido a través de los caldeos, de predecir eclipses lunares. Plutarco dice:

> Aglaonike, la hija de Hegétor de Tesalia, por ser experta en eclipses de Luna llena y por conocer de antemano el tiempo en que sucede que la Luna es obscurecida por la sombra de la Tierra, engañaba y convencía a las mujeres de que ella hacía bajar la Luna.

Para realizar este tipo de predicciones, Aglaonike debía conocer el saros, un período de alrededor de 18 años y 11 días. El saros se mencionó antes al hablar del eclipse de Sol que supuestamente predijo Tales (p. 20). Luego de un saros los eclipses se repiten. Este conocimiento no es útil para predecir eclipses de Sol, pero sí lo es para los eclipses de Luna que predecía Aglaonike.



Fig. 11.1. *Muchacha tracia llevando la cabeza de Orfeo sobre su lira*, óleo de G. Moreau (1865). Algunas obras modernas han identificado a esta muchacha con Aglaonike, la primera astrónoma.

Obras literarias muy posteriores han mezclado la historia de Aglaonike con el mito de Orfeo. Según una de las versiones del mito, luego de la muerte de su esposa Eurídice y de su intento fallido de rescatarla del inframundo, Orfeo, desconsolado, desdeñó el culto a Dioniso. Solo adoraba a Apolo. Mientras se encontraba en el monte Pangeo, en Tracia, las ménades, las indómitas seguidoras de Dioniso, lo despedazaron. El novelista y filósofo místico E. Schuré afirma, en su libro *Los grandes iniciados* (1889), que la culpable de matar a Orfeo fue la misma Aglaonike. El argumento se repite en el poema de A. Nadel, *Der weissagende Dionysos* (*El Dioniso profético*, 1959), o en la película *Orpheus* (1949) de J. Cocteau. Pero Aglaonike no aparece en las versiones antiguas del mito de Orfeo. El nombre de Aglaonike ha quedado unido, de manera probablemente injusta, a la historia de un asesinato.

María la Hebrea

La alquimia floreció en Alejandría durante los primeros siglos después de Cristo. Su origen se remonta a la antigua Mesopotamia, donde hubo mujeres que aplicaron conocimientos de química para la producción de perfumes y cosméticos, usando instrumentos de cocina. La alquimia utilizó los conocimientos derivados de la producción de perfumes, cosméticos y joyas de fantasía, y de la preparación de tinturas. La base teórica era el gnosticismo, una mezcla de neoplatonismo, cristianismo, judaísmo y misticismo caldeo y egipcio. La importancia de la alquimia en la historia de la ciencia reside más en sus aspectos prácticos que teóricos. Y es en los aspectos prácticos donde las mujeres jugaron un rol relevante. Antiguos textos de alquimia se refieren al *opus mulierum*, el "trabajo de las mujeres". Los alquimistas eran capaces de reconocer simulaciones de plata u oro, producidas por medio del dorado o de la aleación con metales comunes. El fin último era la transmutación de los metales. El alquimista

alentaba un complejo proceso de evolución que tendía hacia la perfección del oro. La búsqueda llevó siglos de obsesión, frustraciones y fracasos. Pero los esfuerzos no fueron en vano. La humanidad logró, al fin, la transmutación de los elementos en el siglo XX a través de reacciones nucleares.

Los nombres de las antiguas mujeres alquimistas se han perdido. Poco se sabe de sus vidas. Ellas, de manera anónima, lograron construir una base de experiencias y conocimientos desde la que otros, más tarde, pudieron ver más lejos. Hay dos, sin embargo, cuyos nombres han sobrevivido al paso del tiempo. De una, en realidad, no tenemos el nombre sino el seudónimo. Se hacía llamar Isis. Uno de los textos de alquimia más antiguos se titula *Isis la profetisa a su hijo Horus*. Isis estudió la coloración superficial de los metales y las aleaciones.

La segunda es María la Hebrea. María vivió en Alejandría aproximadamente entre los siglos II y III d. C. La mayoría de nosotros hemos mencionado alguna vez su nombre. A ella se atribuye la invención del *balneum Mariae*, o "baño María", aunque es probable que se utilizara desde tiempos más antiguos. El baño María es un método de calentamiento a temperatura controlada que sigue siendo esencial en laboratorios de química o en la cocina. Si se desea, por ejemplo, derretir chocolate sin que se queme, se coloca el recipiente con chocolate dentro de otro recipiente más grande con agua y se pone todo al fuego. El calor llega hasta el chocolate a través del agua que, en estado líquido y en situaciones normales, no supera los 100°C.

María también inventó el *tribikos*. Funcionaba como un alambique de tres brazos: en la zona inferior se calienta una sustancia y los componentes más volátiles se evaporan, en la zona superior esos componentes se enfrían y se condensan. La condensación era recogida en tres brazos que conducían a vasijas. La presencia de los instrumentos de cocina se manifiesta en una de las instrucciones que dejó María para la construcción del tribikos: debían usarse tubos de cobre hechos con láminas de un

Uno se convierte en dos, dos se convierte en tres, y por medio del tercero y cuarto alcanza la unidad; así dos no son sino uno.



Fig. 11.2. María la Hebrea (siglos II-III), retrato imaginario de 1617. Y una enigmática frase suya. Se interpreta como la descripción de una transmutación que se alcanza por la combinación sucesiva de tres o cuatro metales, distintos al comienzo, que luego se convierten en idénticos (Patai 1995, p. 66).

espesor como el de una sartén para hacer pasteles. Otro de sus inventos fue el *kerotakis*, un aparato que servía para exponer aleaciones de cobre o plomo a la acción de vapores de arsénico, mercurio o azufre durante tiempos prolongados. El kerotakis permitó a los alquimistas llevar a cabo gran cantidad de experimentos con distintos componentes, en algunos casos se lograban aleaciones parecidas al oro.

Los textos alquímicos describen con claridad los instrumentos de María, pero son confusos en otros aspectos. En lo que se refiere a su vida, los datos disponibles entran en el terreno de la leyenda. María aparece en distintos momentos de la historia anteriores a la época en que se supone que vivió. Se la ha identificado con Miriam, hermana de Moisés también llamada María Profetisa, que aparece mencionada en el Antiguo Testamento y que, según algunos cálculos, vivió en el siglo XIII a. C. En algu-

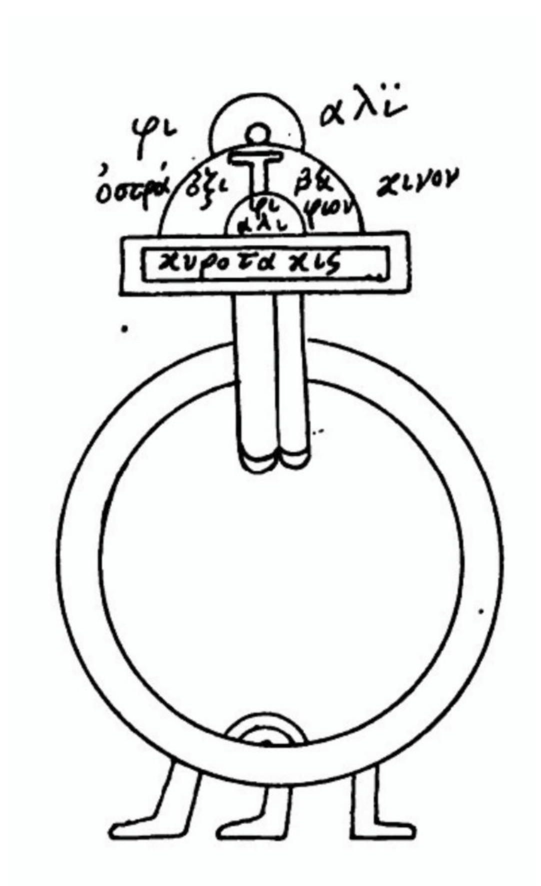


Fig. 11.3. Esquema del kerotakis, de un manuscrito medieval de la biblioteca de San Marco, Venecia. En la parte inferior del recipiente hermético se calienta arsénico, mercurio o azufre. Los vapores de esta sustancia impregnan una aleación metálica en la parte superior. En la parte superior también se produce condensación de la sustancia evaporada, de modo que esa sustancia cae a la parte inferior y vuelve a calentarse manteniendo la concentración del vapor.

nas fuentes árabes figura como contemporánea de Ostanes, un personaje histórico considerado el más grande mago persa, que vivió entre los siglos VI y V a. C. En un tomo de manuscritos árabes sobre alquimia hay un texto de una tal María la Copta, donde se explica, entre otras cosas, la manufactura de vidrio coloreado. María la Copta ha sido identificada con María la Hebrea, aunque también hay problemas con las fechas, porque María la Copta es descrita llevando al niño Jesús sobre sus hombros y sosteniendo un huso en su mano. Epifanio de Salamis, obispo y padre de la iglesia del siglo IV, escribió sobre María en su *Panarion*, o *Adversus Haereses*. Menciona, con cierta indignación, un trabajo de María. El texto describía una visión en la que tenía lugar una relación carnal con Jesús. La misma visión ha sido también atribuida a María Magdalena. Se ha identificado a María la Hebrea con distintas Marías de la antigüedad ignorando anacronismos y sin otro fundamento que la similitud de los nombres. La acumulación de este tipo de datos disminuye la confianza en el conjunto y terminan sumergiendo a María más aún en el anonimato. De ella, al final, solo nos queda la admiración que producen sus extraordinarios instrumentos experimentales.

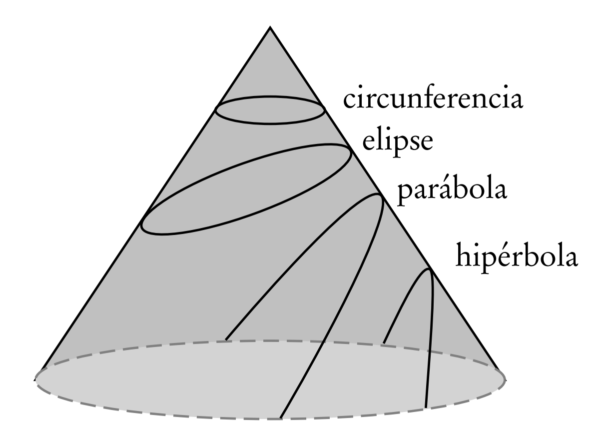
Hipatia

La más conocida, y la más trágica, de las mujeres científicas de la antigüedad fue Hipatia de Alejandría (c. 355 - 415). Hija de Teón, quien probablemente estuvo a cargo del famoso Museo, enseñó filosofía, matemática y astronomía en la Escuela neoplatónica de Alejandría. Escribió un comentario de la *Aritmética* de Diofanto de Alejandría, y otro de las *Secciones cónicas* de Apolonio de Perga. Los comentarios eran ediciones de obras en las que el comentador podía introducir material nuevo, en algunos casos sin distinguir sus contribuciones del original. También trabajó, posiblemente en colaboración con su padre, en las tablas astronómicas de Claudio Ptolomeo y en una edición de

Los Elementos de Euclides. De estas obras solo han perdurado referencias fragmentarias. Hoy solo se conocen los temas en los que trabajó Hipatia y también la gran estima que sus discípulos le tenían.

En las *Secciones cónicas*, Apolonio introduce los nombres de elipse, parábola e hipérbola. Además, fue el primero en proponer órbitas excéntricas, o sea, con la Tierra algo desplazada del centro, para explicar observaciones astronómicas. Las secciones cónicas son las curvas producidas por la intersección entre un cono y un plano. Dependiendo de la inclinación del plano, se obtiene una circunferencia, una elipse, una parábola o una hipérbola, como se ve en la figura 11.4. La circunferencia se obtiene cortando al cono con un plano horizontal. La parábola, con un plano que tiene la misma inclinación que la pared del cono. Estas curvas tienen propiedades de interés desde el punto de vista matemático y físico. En el siglo XVII, Kepler logró ajustar las observaciones del movimiento de los planetas a elipses en lugar de circunferencias. Más tarde, Newton, con sus leyes de dinámica y gravitación, logró una descripción más general y comprobó que la parábola y la hipérbola también representan trayectorias de objetos afectados por la gravedad originada en un punto, debida, por ejemplo, a una estrella como el Sol. Un objeto que pasa cerca del Sol con velocidad lo suficientemente grande como para no quedar atrapado en su campo gravitatorio, describe una trayectoria dada por una hipérbola. Lejos del Sol, donde la gravedad se hace cada vez más pequeña, la hipérbola se transforma, poco a poco, en una recta. Para velocidades más pequeñas, el objeto queda atrapado y su trayectoria es, en general, una elipse; en particular también puede ser una circunferencia. Hay un valor de la velocidad que está en el límite entre las dos situaciones anteriores, en ese caso la trayectoria es una parábola.

En la película *Ágora* (2009), se especula con la posibilidad de que Hipatia haya logrado intuir la forma elíptica de la trayectoria de los planetas usando sus conocimientos de cónicas



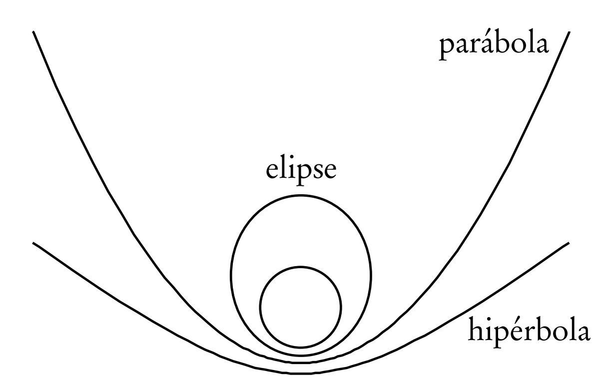


Fig. 11.4. Secciones cónicas. Curvas formadas por el corte de un cono en un plano a distintos ángulos.

y astronomía. Sin embargo, las escasas fuentes disponibles sobre su trabajo no permiten afirmar que algo así haya sucedido.

La fuente principal sobre la vida de Hipatia es la *Historia ecclesiastica* de Sócrates de Constantinopla, también llamado Escolástico. Este Sócrates, que no debe ser confundido con el filósofo del siglo V a. de C., fue contemporáneo de Hipatia y logró fama de historiador objetivo. Se refiere a ella de la siguiente manera:

> Había una mujer en Alejandría que se llamaba Hipatia, hija del filósofo Teón, que logró tales conocimientos en literatura y ciencia, que sobrepasó en mucho a todos los filósofos de su propio tiempo.

Los discípulos de Hipatia eran paganos o cristianos, pertenecían a la aristocracia y estaban relacionados con la esfera del poder. Hipatia era tenida en cuenta como consejera en asuntos de gobierno. Sócrates cuenta que

> Debido a la majestuosa franqueza que, como resultado de su educación, la caracterizaba, mantenía unas relaciones muy dignas con las principales personalidades de la ciudad, porque todos la tenían en gran estima y la admiraban por su prudencia y moderación.

Uno de los que acudía a ella era Orestes, prefecto de Egipto, que también asistió a sus clases. Orestes era cristiano y representaba a un estado cristiano, el Imperio romano.

Damascio (c. 458 - después de 538), el último director de la Academia de Atenas, cuenta que, en una ocasión, uno de los discípulos confesó su amor a Hipatia. La reacción de ella fue enseñarle un paño manchado con su sangre menstrual. Dijo: "De esto estás enamorado, y no tiene nada de hermoso". En esta anécdota Hipatia muestra no solo fortaleza de carácter, sino también coherencia entre sus actos y la filosofía neoplatónica. Hipatia enseña que la belleza no debe identificarse con la materialidad del cuerpo humano. Como decía Plotino, si un hombre



De esto estás enamorado, y no tiene nada de hermoso.

Fig. 11.5. Retrato imaginario de Hipatia, de A. Seifert, fines de siglo XIX. Y la única frase textual que se conserva de ella. La dijo mientras mostraba a un discípulo enamoradizo un paño manchado con su sangre menstrual.

se aferra a la imagen de un cuerpo hermoso, "se hunde en las más oscuras profundidades donde el intelecto no se deleita, y permanece ciego en el Hades". El objetivo de la enseñanza de Hipatia era que el joven experimentara la transformación espiritual que lo llevara a adquirir el dominio de sí mismo o *sofrosine*.

La historia de la vida, y la muerte, de Hipatia ha sido motivo de polémica durante siglos. Los datos de su biografía han sido modificados, exagerados o inventados. Los siguientes ejemplos ilustran las posiciones extremas. En el siglo XVIII, J. Toland escribió un panfleto titulado *Hipatia, o la historia de una de las damas más hermosas, virtuosas, cultas y distinguidas en todos los aspectos; que fue despedazada por el clero de Alejandría para satisfacer el orgullo, la envidia, y la crueldad de su arzobispo, co-*

mún pero inmerecidamente llamado san Cirilo. Poco después, T. Lewis escribió una refutación titulada: *La historia de Hipatia, la más descarada maestra de escuela de Alejandría: asesinada y despedazada por el populacho, en defensa de san Cirilo y el clero de Alejandría de las calumnias del señor Toland*.

Según la historia más difundida, Hipatia murió joven, hermosa y virgen, asesinada por una horda de fanáticos cristianos mandados por Cirilo, el obispo de Alejandría; el motivo fue que Hipatia era pagana y que representaba el conocimiento de la cultura helénica. Las fuentes más antiguas confirman parte de esta historia. Aunque los historiadores eclesiásticos presentan una imagen positiva de Cirilo como teólogo y defensor de los dogmas, las fuentes antiguas lo describen como implacable en la acumulación de poder y con fuerte oposición en Egipto. También se sabe que Hipatia fue asesinada de manera brutal: fue golpeada hasta descuartizarla, sus restos fueron paseados por la ciudad y finalmente fueron incinerados. Los historiadores coinciden, en general, en que Cirilo tuvo responsabilidad en el asesinato. Aunque se asuma que Cirilo no haya participado en su planificación y ejecución, él fue el instigador de una campaña de difamación contra Hipatia. Sócrates afirma que "este suceso acarreó no escaso oprobio tanto a Cirilo como a la iglesia de los alejandrinos". La parte de la historia cuya veracidad ha sido cuestionada es que Hipatia haya muerto joven y que el motivo haya sido el odio a su paganismo y su sabiduría. Se supone que Hipatia fue asesinada cuando tenía alrededor de sesenta años. En cuanto al motivo, se trató, según Dzielska (2004), de un asesinato político, culminación de una escalada de agresiones y violencia entre el prefecto imperial Orestes y el representante de la iglesia Cirilo. Atacar a Hipatia fue una forma de atacar a Orestes. A Anaxágoras le sucedió algo similar, solo que él tuvo más suerte (p. 73). Anaxágoras fue acusado de impiedad por afirmar que el Sol no era un dios y su castigo fue el exilio. De Hipatia se decía que usaba brujería y magia negra para controlar a Orestes y ponerlo en contra de

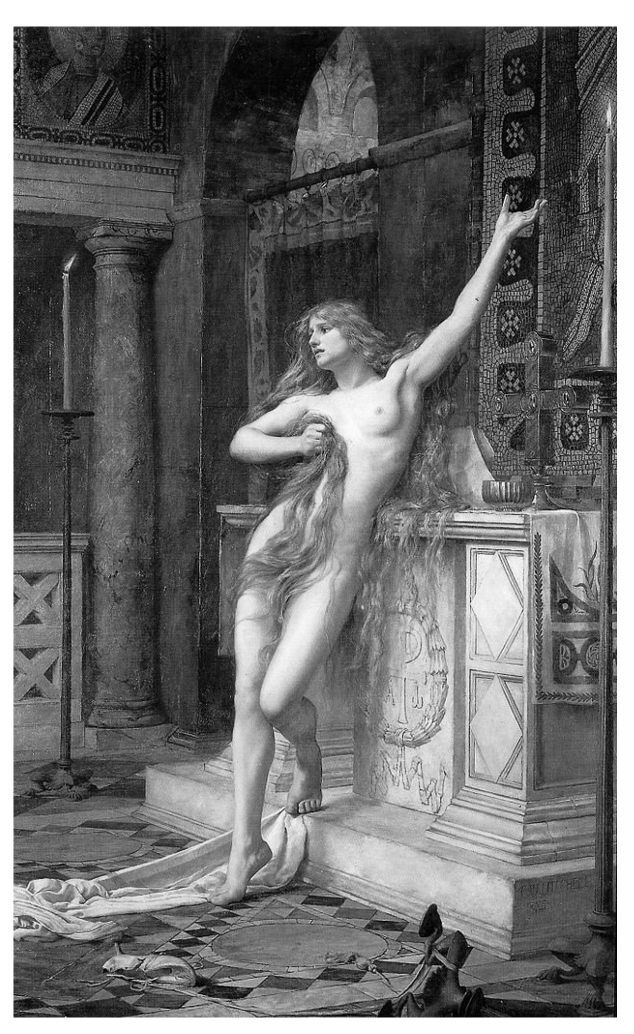


Fig. 11.6. Hipatia, joven y hermosa en el momento de su muerte, óleo de C. W. Mitchell, de 1885. Se supone que, en realidad, Hipatia tenía alrededor de sesenta años cuando fue asesinada.

Cirilo.

Existen puntos de conexión entre Hipatia y santa Catalina. Según algunos estudios, la leyenda de santa Catalina, que tomó forma alrededor del siglo VIII, contiene elementos tomados de la historia o la leyenda de Hipatia y adaptados al cristianismo. Se dice que Catalina vivía en Alejandría al comienzo del siglo IV. Como Hipatia, era una mujer erudita, joven, virgen y hermosa, que tuvo una muerte trágica. En una ocasión, cuando el emperador Maximiano se hallaba en Alejandría, Catalina intentó convertirlo al cristianismo. Maximiano se irritó. Para ponerla a prueba le impuso un debate con cincuenta sabios. Catalina no solo refutó todos los argumentos, sino que también convirtió a los cincuenta sabios al cristianismo. Maximiano, en cambio, no se dejaba convencer. Ordenó que torturaran a Catalina con una máquina que tenía ruedas con pinches. Las ruedas se rompieron de forma milagrosa al tocar el cuerpo de Catalina. La ayuda sobrenatural no fue suficiente contra la ira y la perseverancia del emperador que, finalmente, logró que la ejecutaran.

12

PRIMEROS CRISTIANOS

Boecio en Roma, Filópono en Alejandría y Antemio en Constantinopla, herederos de la ciencia griega, están entre los primeros cristianos que realizaron contribuciones científicas, todos durante el siglo VI. Boecio fue condenado a muerte y ejecutado por el rey Teodorico el Grande. Filópono fue declarado anatema por el Concilio de Constantinopla; sus ideas fueron ignoradas en Occidente durante mil años. El caso de Antemio es diferente en lo que respecta a injusticias o tragedias. Hasta donde sabemos, no las sufrió. Fue, en cambio, el responsable de que las sufriera su vecino.

Boecio

Boecio (c. 482 - c. 525) escribió un libro titulado *De institutione musica* (*Sobre el fundamento de la música*), uno de los primeros tratados sobre música y acústica. Explicó la relación que existe entre el tono de un sonido y la frecuencia del movimiento del aire en el caso, por ejemplo, de la vibración de una cuerda:

> si todo permanece estacionario y sin movimiento, entonces no hay sonido. Por lo tanto, el sonido se define como un golpe en el aire, persistiendo el efecto sin disiparse hasta alcanzar la audición. (...) Ahora, si

> un movimiento es lento y de baja frecuencia, sonidos de tono bajo son por necesidad producidos debido a la lentitud y baja frecuencia de la fuerza impulsora. Pero si los movimientos son rápidos y densos (o sea, de alta frecuencia), sonidos de tono alto son necesariamente producidos.
> Por esta razón, la misma cuerda si es tensada da un sonido de tono alto, si es aflojada, un sonido de tono bajo. (...) Pues no debe pensarse que cada vez que una cuerda es pulsada solo un sonido es producido, o que solo hay un golpe en el aire en estos casos. El hecho es que el aire es golpeado cada vez que la cuerda al vibrar envía un golpe. Pero como los sonidos siguen rápido uno sobre otro, ninguna interrupción es percibida por el oído, y se tiene la sensación de un sonido único, tanto de tono bajo o alto. Y éste es el caso aún cuando cada sonido está en realidad compuesto por muchos, el de tono bajo consistiendo de más lentos y menos frecuentes sonidos, y el de tono alto de rápidos y densos.

La conexión entre tonos y frecuencia de la perturbación del aire puede parecer simple para los que conocen el tema. No se trata, sin embargo, de una relación inmediata, y su obtención debió haber requerido experimentación y observación cuidadosas. La relación entre movimientos rápidos o lentos y tonos altos o bajos fue observada antes por Arquitas. Boecio se refiere también a los intervalos o relaciones entre frecuencias que producen consonancia, "la unión de un sonido alto y otro bajo percutiendo en los oídos agradable y uniformemente".

Con respecto a la propagación del sonido como una onda, los estoicos habían dicho

> Que el oír se hace siendo herido el aire que media entre el que habla y el que oye, lo cual se hace circularmente y con ondulaciones, hasta que llega a los oídos, a la manera que ondea por círculos el agua de un estanque, cuando es arrojada en él una piedra.

Boecio utilizó la misma imagen del sonido propagándose como una onda en la superficie del agua:

> En el caso de los sonidos, tiene lugar algo similar a lo que sucede cuando una piedra es lanzada y cae en una pileta u otra agua calma. La piedra primero produce una onda con una circunferencia muy pequeña. Entonces causa la propagación de las ondas en círculos cada vez mayores hasta que el movimiento, debilitándose a medida que las ondas se propagan, finalmente cesa. (...)
> Del mismo modo, entonces, cuando el aire es golpeado y produce un sonido, impele otro aire cercano y en cierto modo establece una onda esférica de aire en movimiento, y es así dispersada y percute simultáneamente la audición de todos los que están alrededor. Y el sonido es menos claro para uno que esté más lejos dado que la onda de aire impelido que llega a él es más débil.

Boecio creció en una familia aristocrática y recibió una educación excelente. Él, su padre, su suegro y sus dos hijos fueron cónsules. Algunos historiadores suponen que debió haber viajado a Atenas o Alejandría para alcanzar su elevado nivel de erudición. Usó su talento para escribir obras de filosofía, aritmética y música, y traducir a Aristóteles al latín. Los libros de Boecio fueron una de las principales fuentes usadas durante siglos en el *quadrivium* (aritmética, geometría, música y astronomía), el conjunto de cursos básicos introducido en los monasterios y dictado en las universidades medievales.

Teodorico el Grande, rey de Italia y de los godos, gobernó entre 494 y 526 en nombre del emperador bizantino, aunque en esencia de manera independiente. Durante ese tiempo, se preservó la ley romana y el funcionamiento del senado. Italia tuvo un período de paz y tolerancia religiosa hasta cerca del final del reinado.

Boecio fue, hasta el final, ministro y amigo de Teodorico. Russel cuenta que

> Teodorico empleó a Boecio para reformar el sistema monetario, y para impresionar a reyes bárbaros menos sofisticados con dispositivos tales como relojes de sol o relojes de agua. Puede ser que la ausencia de supersticiones no fuera tan excepcional en las familias aristocráticas romanas o de otros lugares; pero la combinación con gran erudición y celo por el bien público fue única en su época. Durante los dos siglos anteriores y los diez que siguieron, no puedo pensar en ningún académico europeo tan libre de superstición y fanatismo. Tampoco son sus méritos meramente negativos; su investigación es elevada, desinteresada y sublime. Hubiera sido notable en cualquier época; en la época en la que vivió, es por completo increíble.

Boecio introdujo en el cristianismo la idea de la Rueda de la Fortuna: la naturaleza caprichosa del destino. La diosa Fortuna gira la rueda al azar; unos suben, otros bajan. Boecio había estado alto casi toda su vida, hasta que bajó de golpe. En su más famosa obra, *Consolatio philosophiae* (*Consolación de la filosofía*), una personificación de la filosofía habla con él y dice:

> tu antigua buena fortuna te ha afectado tanto que estás siendo consumido por el anhelo. (...) Sé cómo Fortuna es más amigable y seductora con aquellos a los que se afana por engañar, hasta que los abruma con dolor insoportable, al desampararlos cuando menos lo esperan. Si recuerdas su naturaleza, sus maneras, o sus deserciones, verás que con ella nunca tuviste, ni perdiste, algo que fuera precioso.

La paz, la tolerancia religiosa y las buenas relaciones no perduraron. El emperador bizantino Justino I y Teodorico eran cristianos, el primero católico y el segundo arriano. En 523 el emperador proscribió el arrianismo. Teodorico tenía motivos



Fig. 12.1. Para Boecio, la historia es como una rueda movida por el capricho de la Fortuna. Con el giro de la rueda, los que están alto pueden caer y los que están bajo pueden subir. Miniatura del siglo XV.

para preocuparse. La mayor parte de Italia era católica, lo que significaba una mayor simpatía hacia el emperador. Creyó que había una conspiración que involucraba a hombres de su gobierno. Un senador fue acusado de traición por haber escrito al emperador en contra de Teodorico. Boecio defendió al senador, lo que solo sirvió para que él mismo fuera acusado de traición, y otros cargos como práctica de magia y sacrilegio. Símaco, el suegro de Boecio, lo defendió de las acusaciones, lo que llevó a que también él fuera acusado, y condenado. Es de imaginar que no surgieron más defensores.



Mira la extensión del cielo, la firmeza con la que permanece, la rapidez con la que se mueve, y deja de admirar las cosas inferiores.

Fig. 12.2. Boecio enseñando, miniatura del siglo XIV en una inicial de *Consolatio Philosophiae*.

Boecio fue sentenciado a muerte, la sentencia fue ratificada por el senado; si algún senador estuvo en desacuerdo, probablemente prefirió callar. Mientras estuvo en prisión, esperando el enjuiciamiento y la ejecución de la sentencia, escribió *Consolatio philosophiae*, donde, por ejemplo, dice

> Mira la extensión del cielo, la firmeza con la que permanece, la rapidez con la que se mueve, y deja de admirar las cosas inferiores.

Por cosas inferiores, Boecio se refiere a riquezas, honores, poder, gloria o vida voluptuosa.

Juan Filópono

Juan Filópono, o Filopón, (Ioannes Philoponos, c. 490 - c. 570), también llamado Juan el Gramático, vivió en Alejandría

y estaba relacionado con la Academia de Atenas a través de su maestro, Amonio de Hermia, que había sido discípulo de Proclo. El edicto de Justiniano que, en 529, prohibió a los paganos enseñar y significó el fin de la Academia, no tuvo efecto en Filópono, pues él era cristiano. Filópono fue autor de varios tratados teológicos, filosóficos y científicos. Escribió una crítica a la física de Aristóteles, que fue mayormente ignorada en su época. Con respecto a la idea de que, cuando se dispara una flecha, el aire desplazado que ocupa la parte trasera de la flecha es lo que la mantiene en movimiento (ver p. 136), Filópono opina

> Tal visión [de Aristóteles] es bastante increíble y raya en lo fantástico. (...) [E]s evidente que, en el caso de arrojar objetos o disparar flechas, no es el aire puesto en movimiento por la mano o por la cuerda del arco lo que produce el movimiento del proyectil o de la flecha. (...) [S]i la flecha está en contacto directo con la cuerda del arco y la piedra con la mano, y no hay nada en el medio, ¿qué aire detrás del proyectil podría moverse?

Luego intuye el concepto físico de ímpetu, hoy equivalente al producto de la fuerza por el corto lapso que dura el lanzamiento del proyectil, al hablar de una “fuerza motriz” que queda impresa en el objeto lanzado:

> Más bien es necesario suponer que alguna fuerza motriz incorpórea es impartida por el lanzador al proyectil.

Filópono modificó el rol del medio: en lugar de ser responsable de la continuación del movimiento, es, en realidad, un impedimento que frena al proyectil poco a poco. Utilizó el concepto de fuerza impresa para explicar también el movimiento de los cuerpos celestes y deshacerse así de explicaciones místicas, como la presencia de ángeles, que se usaban para introducir una causa del movimiento. Su pensamiento crítico aparece de nuevo en la siguiente cita:

Se ha dicho que son los ángeles quienes mueven la Luna, el Sol y los cuerpos celestes. ¿Puede haber algo más ridículo?



Fig. 12.3. Juan Filópono, posible retrato imaginario al inicio de un libro del siglo XVI.

> Se ha dicho que son los ángeles quienes mueven la Luna, el Sol y los cuerpos celestes, ora tirando desde delante como animales uncidos, ora empujando desde atrás como porteadores (...) o echándoselos al hombro. ¿Puede haber algo más ridículo? ¿Acaso Dios que los creó fue incapaz de implantar una fuerza motriz en la Luna, el Sol y los demás cuerpos celestes (...) de manera que no tengan que ser movidos por ángeles a la fuerza?

Como se mencionó antes, Aristóteles decía que un cuerpo cae más rápido cuanto más pesado es. Reconoció que existen situaciones en las que la relación de proporcionalidad no es válida. Esta precaución no fue suficiente para evitar las críticas. Filópono no la tuvo en cuenta e interpretó que, en cualquier caso, un objeto que pese el doble que otro tardaría la mitad de tiempo en caer cierta distancia. "Pero esto es completamente erróneo", dice Filópono,

> y nuestro punto de vista puede comprobarse por ob-

> servación empírica en forma más efectiva que por cualquier tipo de argumento verbal. Pues si se dejan caer dos pesos desde la misma altura, de los cuales uno es muchas veces más pesado que el otro, se verá que la relación entre los tiempos requeridos por el movimiento no depende de la relación entre los pesos, sino que la diferencia de tiempo es muy pequeña.

Este razonamiento, como el de Lucrecio mucho antes (ver p. 102), adelanta los experimentos de Galileo en la torre de Pisa. Si la resistencia del aire es pequeña, objetos de pesos diferentes caen casi a la misma velocidad y llegan al suelo con una diferencia de tiempo pequeña.

Filópono atacó la física de Aristóteles, también sus ideas sobre la eternidad (y las de Proclo), pero utilizó como herramientas otros aspectos de su filosofía en escritos teológicos. Era un triteísta; así llamaban a ciertos intelectuales que buscaban hacer inteligible el misterio de la Trinidad utilizando lenguaje filosófico. Filópono es considerado hoy como uno de los primeros pensadores en reconciliar la filosofía aristotélica con el cristianismo. Sin embargo, en su época fue rechazado tanto por paganos como por cristianos. Los teólogos cristianos condenaron su intento de utilizar las categorías de Aristóteles para explicar la unicidad del Padre, el Hijo y el Espíritu, pues para ellos el problema era en esencia un misterio espiritual, no filosófico. Las ideas de Filópono fueron consideradas heréticas y, en el Concilio de Constantinopla de 680-81, fue declarado anatema. La proliferación de sus textos no fue posible en el mundo cristiano, no así en el mundo árabe, donde se los estudió de manera extensiva. Volvió a tener influencia en el mundo cristiano durante el Renacimiento. En el siglo XVI se empezaron a imprimir traducciones al latín de sus libros. Habían pasado mil años.

Antemio

La idea de Arquímedes de usar espejos ustorios (que queman) fue continuada por otros. Diokles (activo c. 200-175 a. C.), escribió *Sobre espejos ustorios*. El libro contiene resultados sobre la geometría de secciones cónicas, o sea, las curvas que surgen cuando se corta un cono en distintas direcciones. Una de esas curvas es la parábola. Diokles comprobó que rayos que inciden paralelos sobre una parábola se reflejan de tal forma que convergen en un punto, llamado foco. Es la propiedad que se utiliza hoy en las antenas parabólicas.

Según Zonaras, historiador del siglo XII, el filósofo neoplatónico Proclo (412-485), imitando a Arquímedes, incendió la flota de Vitaliano con espejos cuando intentaba atacar Constantinopla. La historia es inverosímil no solo por las dificultades que existen en usar espejos como armas (ya mencionadas en el capítulo 10), sino también porque la batalla tuvo lugar unos 30 años luego de la muerte de Proclo.

Otro continuador de Arquímedes fue Antemio de Tralles (c. 475-558), matemático, ingeniero y arquitecto bizantino. Escribió un tratado sobre espejos ustorios. Tanto su trabajo como el de Diokles tuvieron influencia en Ibn al-Haytham (o Alhazen), en el siglo XI. Antemio estudió el siguiente problema relacionado con espejos y rayos de luz. En la pared de una habitación hay un pequeño orificio por el que entra un rayo de luz solar. A lo largo del día, el rayo se mueve con el Sol. Se desea diseñar un espejo tal que refleje ese rayo y lo haga pasar, en cualquier momento del día, por un punto fijo. Antemio determinó que la forma que debía tener la superficie del espejo era la de una elipse. Se construye una elipse a partir de dos puntos llamados focos; la suma de las distancias desde un punto de la elipse a los dos focos es una cantidad fija. Un foco debe estar en el orificio de entrada y el otro en el punto donde se desea que llegue el rayo, como se ve en la figura 12.4.

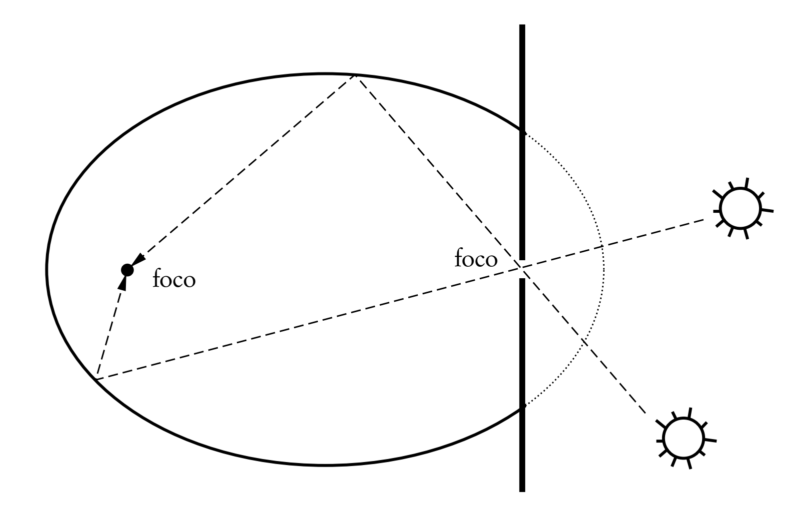


Fig. 12.4. ¿Cómo reflejar un rayo de luz siempre en el mismo punto? Según Antemio, con un espejo elíptico, con el orificio de entrada y el punto final en los focos.

Antemio estaba enemistado con su vecino, el orador Zenón, "por alguna de las muchas razones que inevitablemente llevan a los vecinos de al lado al conflicto", como afirma Agatías en sus *Historias*. Agatías fue contemporáneo de Antemio. Dejó un notable relato de sus peleas que se reproduce aquí en parte:

> Antemio se vio superado en las disputas por la habilidad jurídica de su oponente y, encontrando que no podía competir con él cuando se trataba de batalla de palabras, tomó represalias de la siguiente manera valiéndose de su experiencia profesional:
> Zenón tenía una buena, espaciosa y suntuosa habitación en planta alta, en la que gustaba pasar el tiempo entreteniendo a sus amigos cercanos. La habitación en planta baja, sin embargo, pertenecía a parte de la

> casa de Antemio, de modo que el techo de una era el piso de la otra. Aquí Antemio llenó de agua enormes calderos y los ubicó a intervalos en varios puntos del edificio. Los ajustó a tubos cónicos, en forma de trompeta, cubiertos de cuero, y lo suficientemente anchos en sus extremos inferiores para permitirles encajar ajustadamente en los bordes de los calderos. Entonces fijó los extremos superiores de forma metódica y segura a las vigas y viguetas, de modo que el aire debía subir libremente a lo largo de los tubos hasta ejercer una presión directa sobre el cielo raso, mientras el cuero lo mantuviera dentro y evitara un escape. Habiendo instalado estos aparatos en secreto, puso fuego bajo la base de cada caldero y encendió una llama poderosa. A medida que el agua se calentaba y hervía, un gran frente de vapor comenzó a subir. Imposibilitado de escapar, subió por los tubos, levantando presión y sometiendo al techo a una serie de sacudidas, hasta que sacudió toda la estructura con suficiente fuerza para hacer crujir la carpintería y hacerla tambalear levemente. Zenón y sus amigos estaban aterrorizados y corrieron presas del pánico a la calle con gritos de horror y alarma. Y cuando Zenón asistió al palacio, comenzó a preguntar a los notables qué pensaban sobre el terremoto y si les había causado algún daño. Cuando exclamaron "¡qué idea! ¡Dios no permita que suceda tal cosa! ¡Dios nos libre!", y comenzaron a protestar indignados con él por su mal gusto al inventar tales espantosas historias de horror, él estaba completamente perplejo. Aunque era incapaz de dejar de creer en la evidencia de sus sentidos en un asunto que había ocurrido tan recientemente, no se atrevió a insistir ante la desaprobación y autoridad combinadas de tantos personajes distinguidos.

El relato sugiere la posibilidad de que Antemio conociera la obra de Herón de Alejandría, del siglo I. Herón utilizó la

fuerza del vapor en algunos de sus trabajos. Inventó lo que se considera la primera máquina de vapor: la eolípila, que consistía en una esfera hueca que giraba alrededor de un eje gracias al vapor que salía por un par de tubos. Como Antemio, Herón también tenía cierta afición por el engaño. En uno de sus muchos inventos utiliza la fuerza que produce la expansión del aire al calentarse para activar un mecanismo secreto que abría las puertas de un templo de manera en apariencia milagrosa.

Anaxágoras había propuesto la idea de que los terremotos eran producidos por perturbaciones de aire bajo la tierra. Agatías especula que algunos podrían encontrar apoyo a teorías similares en el experimento de Antemio. Dirían que Antemio logró un efecto parecido a un terremoto reproduciendo, a escala pequeña, los trabajos de la naturaleza. Agatías se muestra escéptico; dice: "estas teorías, por más plausibles y sofisticadas que puedan parecer, no representan desde mi punto de vista una prueba cierta (...). Estas cosas pueden, por cierto, ser consideradas trucos mecánicos impresionantes y entretenidos, pero uno debe buscar una explicación diferente para las calamidades naturales". Una explicación satisfactoria llegaría recién en el siglo XX con la teoría de tectónica de placas.

Las peleas de Antemio y Zenón no terminan aquí. Los espejos ustorios entran en escena. Agatías continúa:

> ésta no fue la única mala pasada que Antemio le jugó a Zenón. También produjo el efecto de truenos y rayos en su habitación usando un disco levemente cóncavo con una superficie reflectante con el que atrapaba los rayos del sol, entonces giraba el disco y súbitamente lanzaba un poderoso rayo de luz en la habitación, tan poderoso de hecho que enceguecía a todo el que entraba en contacto con él. Al mismo tiempo se las ingenió para producir un sonido profundo y atronador con la percusión de objetos resonantes, y lograba el efecto de fuertes y pavorosos truenos. Cuando Zenón finalmente cayó en la cuen-

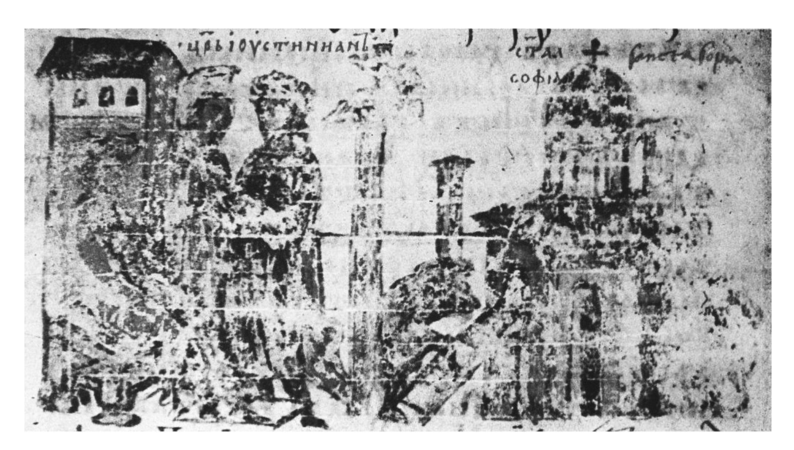


Fig. 12.5. Miniatura del siglo XII que ilustra la construcción de Hagia Sophia. Las figuras representan a los responsables de la obra. Según O'Connor y Robertson, Antemio es el de la derecha.

> ta de dónde se originaban todos estos eventos, públicamente se postró a los pies del emperador, acusando a su vecino de comportamiento malvado y criminal. Se vio de tal manera empujado por su enfado que acuñó una expresión bastante elegante. Comenzó de hecho declamando en un fingido estilo poético ante el senado, diciendo que era imposible para él, un simple mortal, lidiar sin ayuda y al mismo tiempo con Zeus, el que lanza rayos y truenos, y con Poseidón, el que sacude la tierra.

Podemos suponer que el reclamo de Zenón no trajo grandes problemas a Antemio. El emperador lo tenía en alta estima. Le encomendó, junto a Isidoro de Mileto, la construcción de la nueva basílica de Hagia Sophia o Santa Sofía, en Constantinopla; la anterior había sido destruida durante unos disturbios en 532. Procopio de Cesarea, historiador bizantino contemporáneo de Antemio, cuenta que

> ...el emperador [Justiniano], sin tener en cuenta asuntos de gastos, siguió adelante con entusiasmo para comenzar el trabajo de la construcción, y comenzó a reunir a todos los artesanos del mundo entero. Y a Antemio de Tralles, el hombre más docto en el especializado oficio conocido como arte de construir, no solo de todos sus contemporáneos, sino también en comparación con aquellos que habían vivido mucho antes que él.

Hagia Sophia se transformó en mezquita en 1453. Desde 1935 es un museo en el que se puede admirar su extraordinaria estructura y su enorme cúpula.

13

DESTRUCCIÓN

Los científicos de la parte del mundo antiguo influido por la cultura helénica provenían de muchas ciudades diferentes. *The Encyclopedia of Ancient Natural Scientists* menciona 325 localidades para casi 1 000 científicos. La prosperidad, el comercio y la democracia en lugares abiertos a influencias externas parecen haber promovido la práctica de la ciencia. En este grupo de ciudades hubo dos que se destacaron no solo por la cantidad de científicos que nacieron en ellas sino también por los que eran atraídos por sus instituciones y ambiente favorable al desarrollo de la ciencia: Atenas y Alejandría. La historia de estas instituciones, que duraron varios siglos, requiere salir del orden cronológico aproximado que se ha seguido hasta aquí y retroceder al siglo IV a. C. en el caso de Atenas, y al III a. C. en el caso de Alejandría.

La Academia y el Liceo

La Academia de Atenas fue fundada por Platón en c. 387 a. C. El sitio era un olivar en las afueras de Atenas, consagrado a la diosa Atenea, cuyo nombre arcaico era *Hekademia*. Las materias de estudio incluían matemática, astronomía y tópicos de filosofía. Unos diez siglos después de Platón se decía que, en la



Fig. 13.1. Academia de Platón, mosaico de Pompeya, siglo I. Platón sería el tercero desde la izquierda. Arriba a la derecha se ven los muros de Atenas.

puerta de entrada a la Academia, estaba grabada la inscripción: "nadie ignorante de la geometría pase bajo mi techo".

Aristóteles estudió en la Academia durante veinte años. Luego, en c. 336 a. C., fundó su propia escuela: el Liceo. El nombre proviene del dios Apolo Licio a quien estaba consagrado el terreno. El sitio ya era utilizado uno o dos siglos antes como gimnasio y lugar público de reunión, y también para discusiones filosóficas. Aristóteles enfocó la actividad del Liceo en el trabajo en colaboración en temas tan variados como historia natural (observaciones en zoología y botánica), lógica, música, matemática, astronomía, medicina, cosmología, física, historia de la filosofía, metafísica, psicología, ética, teología, retórica, historia y teoría política, y arte. El Liceo recolectó manuscritos en todas estas áreas, dando lugar a la primera gran biblioteca de la Antigüedad.

La Academia y el Liceo fueron destruidos en 86 a. C. cuando el general romano Sila saqueó Atenas. Plutarco cuenta que, durante el asedio,

> Faltóle la madera [a Sila], quebrantándose muchas de las piezas [de las máquinas de guerra] por su propio peso, y siendo frecuentemente incendiadas otras por los enemigos, y acudió por fin a los bosques sagrados, despojando la Academia, que de todos los alrededores de Atenas era el más poblado de árboles, y el Liceo.

Finalmente, la ciudad cayó,

> ...y el mismo Sila, derribando hasta el suelo el muro entre las Puertas Piraica y Sagrada, entró a la medianoche, causando terror y espanto con el sonido de los clarines y de una infinidad de trompetas y con la gritería y algazara de los soldados, a los que dio entera libertad para el robo y la matanza: así, corriendo por las calles, con las espadas desenvainadas, es inde-



Fig. 13.2. Platón y Aristóteles, los fundadores de la Academia y el Liceo, fragmento de *La escuela de Atenas*, de Rafael Sanzio, 1512. Platón apunta con su mano hacia el cielo, hacia el mundo de las ideas; Aristóteles, hacia la tierra.

> cible cuánto fue el número de los muertos, aunque por la sangre que corrió se puede todavía computar a lo que debió ascender.

Atenas, sin embargo, continuó siendo un centro de conocimiento durante los 500 años del dominio romano. Durante el siglo II el Liceo volvió a florecer. Hasta que, en 267 d. C., Atenas fue saqueada, esta vez por los hérulos, una tribu germánica de Escandinavia.

En 410 la Academia fue revivida como centro del neoplatonismo. Habían pasado casi cinco siglos desde la destrucción de la Academia original. Los neoplatónicos se consideraban sucesores y continuadores de la tradición que se remontaba a Pla-

tón. La nueva Academia alcanzó su cumbre con Proclo (412 - 485). Filósofo y matemático, decía que "allí donde hay número, hay belleza". Proclo intentó conciliar los diálogos de Platón con la cosmología y la física de Aristóteles. El universo era geocéntrico: la Tierra en el centro y los planetas, junto al Sol y la Luna, girando alrededor en órbitas circulares. El modelo de Claudio Ptolomeo (siglo II d. C.) era también geocéntrico, pero de una complejidad mucho mayor. Algunas de esas complejidades eran que la Tierra no estaba en el centro de las órbitas, y los planetas giraban, además, en unas órbitas secundarias llamadas epiciclos y centradas en la trayectoria de la órbita principal (ver p. 164). Proclo criticó la complejidad del sistema ptolemaico, aunque la mayor complejidad permitía una mejor adaptación a las observaciones astronómicas. Proclo era un pagano devoto y participaba en asuntos de gobierno en Atenas. Problemas con algunos cristianos lo forzaron a exiliarse durante un año. Luego de su muerte, los problemas no disminuyeron. En 529, un edicto del emperador Justiniano prohibió a los paganos enseñar. La prohibición resultó en el cierre la Academia. Damascio, el último escolarca o director de la Academia, se hizo con todos los textos que pudo y, junto con otros filósofos paganos, se marchó a Persia. Agatías cuenta que

> ...Damascio de Siria, Simplicio de Cilicia, Eulamio de Frigia, Prisciano de Lidia, Hermes y Diógenes de Fenicia e Isidoro de Gaza, todos ellos, para usar un giro poético, la flor de la quintaesencia de los filósofos de nuestra era, llegaron a la conclusión, dado que la religión oficial del imperio romano no era de su agrado, que el estado persa era muy superior.

En los párrafos que siguen en su relato, Agatías muestra no tener un buen concepto sobre el nivel cultural de los persas. No podía saber que, algunos siglos después, esa parte del mundo, junto al resto de los dominios árabes, sería la encargada de preservar y enriquecer la herencia helénica. Cuenta que, luego de un tiempo,

Damascio y sus compañeros decidieron regresar a tierras del imperio romano. Si lo lograron o no, y qué fue de todos sus libros, no lo sabemos. Es probable que los persas no hayan desperdiciado la oportunidad de estudiar, copiar y traducir los últimos textos de la Academia de Atenas.

El Museo y la Biblioteca

El Museo de Alejandría, y su Biblioteca, fue fundado durante el reinado de Ptolomeo I o II, en el siglo III a. C. Este Museo, o casa de las Musas, era similar a un instituto de estudios avanzados, donde se reunían especialistas de distintas áreas para la enseñanza y la investigación. Varios importantes científicos de la Antigüedad trabajaron en el Museo. Por ejemplo, Eratóstenes (p. 160), el primero en calcular con precisión la circunferencia de la Tierra; o Herón (p. 227). También se supone que tuvieron relación con el Museo Euclides (fl. c. 300 a. C.), que, con sus *Elementos*, estableció el poder de deducción de las estructuras axiomáticas; Hiparco (p. 163), considerado por algunos el más grande astrónomo de la Antigüedad y fundador de la trigonometría; y Arquímedes (p. 186 y subsiguientes).

Ptolomeo I había sido uno de los generales de Alejandro Magno, que, a su vez, había sido educado por Aristóteles. Ptolomeo hubiera deseado que Teofrasto, el sucesor de Aristóteles en el Liceo, hubiera educado a su hijo favorito, pero Teofrasto permaneció en Atenas y envió en su lugar a Estratón de Lámpsaco. Estratón asumió el nombre de *Physicus*, o físico, por abocarse al estudio de la ciencia de la naturaleza (*physis*: naturaleza). Negaba la necesidad de un dios para la construcción del universo, y afirmaba que estaba gobernado solo por la fuerza inconsciente de la naturaleza.

La dinastía ptolemaica, o Lágida, sentía orgullo por su relación con la escuela aristotélica. Ptolomeo I o II fundó el Mu-

seo a imitación del Liceo de Atenas. Los Ptolomeo estaban aún imbuidos por el impulso de Alejandro Magno de superar los límites del mundo. Ese impulso se reflejó en la meta que se plantearon: la Biblioteca debía contener el conocimiento del mundo entero, reunir *todos* los libros alguna vez escritos.

La Biblioteca de Alejandría fue la más grande de las bibliotecas del mundo antiguo. Según Galeno (siglo II d. C.), un decreto de Ptolomeo III obligaba a todos los visitantes a entregar sus libros o rollos de pergamino,

> Ptolomeo, el rey de Egipto, estaba tan ansioso por recolectar libros que ordenó que los libros de todo aquel que navegara hasta allí fueran traídos ante él. Los libros eran entonces copiados a manuscritos nuevos. Daba la copia nueva a los propietarios, cuyos libros habían sido traídos ante él luego de su arribo, pero ponía la copia original en la Biblioteca con la inscripción "un [libro] de los barcos".

Ptolomeo III tenía otras preocupaciones, además de la Biblioteca. En 243 a. C. emprendió una campaña peligrosa contra los seléucidas durante la tercera guerra siria. Hacía poco tiempo se había casado con la hermosa Berenice II. Berenice cortó su larga cabellera rubia, de la que estaba orgullosa, y la entregó como ofrenda a la diosa Afrodita para pedir por el regreso de su esposo. La corte se turbó cuando llegó la noticia de que la ofrenda había desaparecido del templo. Entonces intervino el amigo de Arquímedes: Conon de Samos, astrónomo y matemático que posiblemente trabajó en el Museo. Conon explicó que Afrodita manifestó la aceptación de la ofrenda tomándola y luego situándola en el cielo. Durante la noche mostró a Berenice un conjunto de estrellas, no muy brillantes, que, bien miradas, formaban la figura de una cabellera. Ese conjunto de estrellas es lo que hoy se conoce como la constelación de la cabellera de Berenice, o Coma Berenices. Asimov, en sus biografías, juzga a Conon con cierta dureza, pues dice que su acto fue de "cínica adulación".

Con la misma arbitrariedad de Asimov podemos imaginar en Conon una motivación diferente. Quizá no se trató de obsecuencia, sino de la manifestación moderada de un sentimiento que debía reprimir, y que no es difícil imaginar en un hombre maduro ante una mujer joven y hermosa. Quizá Conon hubiera preferido que Ptolomeo III no regresara de la guerra, pero regresó, y la historia de Conon y Berenice, hasta donde sabemos, nunca existió. Es de suponer que Berenice no terminara de creer una historia en la que su cabellera se transformaba nada menos que en una constelación, pero es casi seguro que no le desagradó. Después de todo, si hoy nos acordamos de Berenice no es por Ptolomeo III, sino por Conon. Y este recuerdo significaba para ellos mucho más de lo que podemos imaginar. Los antiguos egipcios creían que su existencia en el país de los muertos continuaría mientras sus nombres no fueran olvidados, y es posible que los integrantes de la dinastía ptolemaica creyeran lo mismo, pues habían adoptado las costumbres de los antiguos faraones.

Durante el reinado de Ptolomeo III se creó una segunda biblioteca, la biblioteca "hija" del Serapeum, el templo dedicado al dios Serapis. La Biblioteca del Museo contenía entre 400 000 y 700 000 rollos de papiro. La del Serapeum tenía unos 40 000 rollos destinados al uso de los que no tenían acceso a la biblioteca principal en los terrenos del Museo. Ambas bibliotecas estaban ligadas entre sí como una única institución.

La Biblioteca de Alejandría, la más extraordinaria acumulación de conocimiento de la Antigüedad, fue finalmente destruida. Varios personajes aparecen como responsables de esta pérdida que no deja de lamentarse a través de los siglos.

La historia más difundida cuenta que Alejandría fue capturada en 642 por el ejército musulmán de Amr ibn al-As, quien escribió al califa Omar para solicitar instrucciones acerca de qué hacer con los libros de la Biblioteca. Omar respondió:

> Acerca de los libros que mencionas, ésta es mi respuesta. Si su contenido está de acuerdo con el libro de Alá, no los necesitamos, pues en ese caso el libro de Alá es más que suficiente. Si, por otro lado, lo que contienen no está de acuerdo con el libro de Alá, no puede haber necesidad de preservarlos. Procede, entonces, y destrúyelos.

La versión más antigua de esta historia es más de cinco siglos posterior a los hechos. Se encuentra en la *Historia de los sabios*, de Al-Qifti (c. 1172 - 1248), y tiene, como otro de sus protagonistas, a Juan Filópono. Es Filópono quien, durante el tiempo que tarda en llegar la respuesta de Omar, mantiene una serie de diálogos con Amr en los que intenta convencerlo acerca del inmenso valor del conocimiento acumulado en los libros y de la importancia de preservarlos. Cuando llega la respuesta de Omar, Amr obedece en contra de sus deseos. Algunos historiadores dudan de este relato. Una de las razones es que contiene lo que varios especialistas consideran un anacronismo: se supone que Juan Filópono murió en c. 570, mucho antes de que Amr tomara Alejandría. En todo caso, si los árabes destruyeron la Biblioteca, solo se encontraron con un débil reflejo de lo que había sido. Otros se les habían adelantado.

Sagan hace coincidir la destrucción de la Biblioteca con la muerte de Hipatia. Las fuentes disponibles hacen suponer que se refiere a un hecho que, en realidad, sucedió 24 años antes, en 391, cuando Hipatia contaba con alrededor de 36 años. Fue entonces cuando el emperador Teodosio I declaró ilegal la práctica del paganismo. Teófilo, patriarca de Alejandría y tío de quien sería su sucesor, Cirilo, cerró los templos paganos de Alejandría. Sócrates de Constantinopla cuenta que

> A pedido de Teófilo, obispo de Alejandría, el emperador emitió una orden de demolición de los templos paganos en esa ciudad; ordenando también que debía ejecutarse bajo la dirección de Teófilo. Apro-

> vechando la oportunidad, Teófilo se esforzó al máximo para exponer al desprecio los misterios paganos. (...) [D]estruyó el Serapeum (...) que mostró lleno de supersticiones extravagantes. (...) El gobernador de Alejandría, y el comandante en jefe de las tropas en Egipto, asistieron a Teófilo en demoler los templos paganos. Estos fueron arrasados, y las imágenes de sus dioses fueron fundidas y transformadas en ollas y otros utensilios para uso de la iglesia de Alejandría; pues el emperador había instruido a Teófilo distribuirlos para alivio de los pobres.

Habían pasado seis siglos desde la creación de la biblioteca "hija" del Serapeum. Es posible que entonces el Serapeum todavía contuviera libros, pero no se sabe cuántos. En los registros acerca de los disturbios en Alejandría en 391, durante la destrucción de los templos paganos, nada se dice acerca del Museo y la Biblioteca principal. Es probable que hubieran sido destruidos más de un siglo antes. Sin embargo, todavía había al menos una persona que seguía haciendo el trabajo de los que habían estado en el Museo: Teón, el padre de Hipatia, "el hombre del Museo" según la enciclopedia *Suda* del siglo X.

No es por completo correcto considerar a Omar o a Teófilo como los principales responsables de la destrucción del Museo y la Biblioteca. Se supone que el final llegó de manera gradual por ataques o incendios acumulados a lo largo de siglos, o solo por la falta de mantenimiento y renovación de las copias.

Los edificios del Museo y la Biblioteca debieron haber recibido un daño importante durante los varios ataques y saqueos que sufrió Alejandría en el siglo III. En uno de estos episodios, la ciudad fue conquistada por Zenobia, la reina de Palmira, en 269, y recuperada para el imperio romano por Aureliano, en 273, que destruyó el Bruchión, el barrio real de Alejandría donde estaban el Museo y la Biblioteca. Por si esto fuera poco, en 365 hubo un terremoto devastador. La costa de Alejandría ha

cambiado con los siglos. Hoy, los restos de esa parte de la antigua ciudad se encuentran sumergidos bajo el mar.

¿Qué fue de los libros de la Biblioteca de Alejandría? Los rollos de papiro resisten el uso y el paso del tiempo, pero no para siempre. Demasiados siglos pasaron para poder frenar la dispersión y desaparición de los libros. El tiempo, finalmente, causó más estragos que los fuegos de emperadores, obispos o califas.

EPÍLOGO

Al final del *Icaromenipo*, de Luciano (siglo II), Zeus decreta el castigo a los filósofos-científicos por sus terribles faltas. Dice:

> Hay una raza de hombres que pulula, no ha mucho tiempo, por el mundo, holgazana, pendenciera, jactanciosa, irascible, glotona, necia, fatua, henchida de soberbia. (...) Pues bien, esos individuos, divididos en escuelas tras crear diversos laberintos de palabras, se han dado a sí mismos los nombres de estoicos, académicos, epicúreos, peripatéticos y otros mucho más ridículos aún que los citados.

En las palabras de Zeus se refleja la opinión negativa que Luciano tenía sobre los practicantes de la filosofía de su época, a quienes consideraba dedicados a discusiones sobre conceptos abstractos sin utilidad práctica. Los dioses tenían sus propios motivos, como dice Zeus:

> de entre éstos, los llamados "epicúreos" son en extremo insolentes y nos atacan sin mesura, afirmando que los dioses no nos ocupamos de los asuntos humanos y que, en una palabra, no prestamos atención a cuanto ocurre. Por tanto, ya es hora de tratar el tema. (...) Porque ¿quién iba ya a consagrarnos sacrificios sin esperanzas de ganar algo a cambio?

Finalmente, anuncia el castigo:

> El año próximo, al comienzo de la primavera, los malvados perecerán de mala muerte bajo mi temible rayo.

El tiempo, que acabó con los papiros de la Biblioteca de Alejandría, también terminó con los filósofos y científicos griegos, sus herederos y sus seguidores, y también con Luciano de Samosata. No fue necesario que Zeus usara su temible rayo. Sin embargo, lo que ha quedado de sus obras, un débil reflejo de lo que fueron en su máximo esplendor, perdura. Y perdurará mientras haya seres humanos con espíritu inquieto, con pensamiento crítico —como Luciano— y con amor al conocimiento.

Aristóteles afirmaba que el origen de las ciencias, o del amor al conocimiento, es la admiración o asombro que produce el estado de las cosas (p. 141). Hoy podemos sentir el mismo asombro y admiración que sintieron los filósofos griegos cuando nos detenemos a pensar en cuestiones para las que aún no ha sido posible hallar una respuesta definitiva. Algunas de esas cuestiones se mencionaron en este libro. Son, por ejemplo, si el espacio y el tiempo son infinitamente divisibles (p. 62), si el mundo se comporta de manera determinista o probabilística (p. 176) o si el Universo es finito o infinito (p. 147).

Como decía Aristóteles: “Ir en busca de una explicación y admirarse, es reconocer que se ignora”.

NOTAS

Capítulo 1 Caer en un pozo

[Que todos nuestros discursos...] (p. 17) La cita del epígrafe aparece en Diógenes Laercio, II, 4 (versión en inglés en Wikisource).

[todo proviene agua] (p. 18) La idea del agua como principio fundamental tiene antecedentes en tradiciones mitológicas de Egipto o Mesopotamia: el cosmos es engendrado en un caos acuoso primordial. Mondolfo (1959), cap. II, I "Tales de Mileto", encuentra un indicio anterior a Tales de esta idea en la *Ilíada* cuando Menelao se dirige a los aqueos diciendo: "Ojalá os volvierais agua y tierra ahí mismo" (Homero, *Ilíada*, VII, 99).

["todo está lleno de dioses"] (p. 19) Aristóteles, *Acerca del alma*, 411a, 5.

[Según Aristóteles...] (p. 19) Aristóteles, *Acerca del alma*, 405, 20-22.

[...no hay diferencia entre la vida y la muerte] (p. 19) Diógenes Laercio, libro I, Tales, 11.

[cuenta Aecio que...] (p. 19) Aecio, *Placita philosophorum*, libro II, cap. XXIV.

[Tales logró una fortuna cuando...] (p. 20) Ver Diógenes Laercio, libro I, Tales, o Aristóteles, *Política* I, IV.

[Según Heródoto...] (p. 20) Heródoto. *Los nueve libros de la historia*, libro 1, 74.

[muchos ponen en duda que Tales...] (p. 21) Según R. G. Newton (2007, p. 13), no es posible que Tales haya predicho el eclipse.

[en el caso de los eclipses de Sol, hay un inconveniente] (p. 21) Ver, por ejemplo, P. O'Grady (Fieser y Dowden eds.), "Thales" en *Internet Encyclopedia of Philosophy*, consulta: mayo de 2012.

[Se atribuye a Tales un teorema...] (p. 22) El teorema de Tales ha logrado fama gracias al grupo de instrumentos informales Les Luthiers con su interpretación de "El Teorema de Thales", pieza antes conocida como "Si tres o más" (J. S. Mastropiero, op. 48, 1967). Se mencionan tres o más paralelas. La situación es equivalente a la presentada en el texto si se considera que la tercer paralela pasa por el punto de intersección *S* en la figura 1.3.

[Plutarco lo cuenta...] (p. 23) Plutarco, *Moralia, Banquete de los siete sabios*, 2, 147A, p. 220. Según otros (Plinio, *Historia Natural*, XXXVI, 185, o Diógenes Laercio, I, 27), Tales habría conseguido medir la altura de la pirámide de manera un poco más simple:

esperó la hora en la que la sombra de nuestro cuerpo es igual a nuestra altura y luego midió la sombra de la pirámide.

[Tales en cuestiones políticas...] (p. 24) Plutarco, *Moralia, Banquete de los siete sabios*, 2, 154E, p. 245.

[Tales en su vejez partió...] (p. 24) Diógenes Laercio, libro II, Anaxímenes, 2.

[Oh, Tales, tú presumes de...] (p. 24) Diógenes Laercio, libro I, Tales, 10.

Capítulo 2 Los pitagóricos y los números

[Russell (1946) dice al respecto...] (p. 30) Russell (1946), libro 1, cap. III.

[Aristóteles atribuye a los pitagóricos...] (p. 30) Aristóteles, *Metafísica*, XIV, III, 1090.

[...ilustra una anécdota relatada por Plutarco.] (p. 32) Plutarco, *Moralia*, vol. 1, *Cómo sacar provecho de los enemigos*, 9, 91C, p. 321.

[No solo los neopitagóricos...] (p. 32) C. Huffman (Zalta ed.), "Pythagoras" en *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, consulta: mayo de 2012.

[Según Heráclito...] (p. 33) Diels y Kranz eds. (1960), "Herakleitos", fr. 81. Ver la traducción de este fragmento en C. Huffman (Zalta ed.), "Pythagoras" en *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, consulta: mayo de 2012.

[la historia que cuenta Diógenes Laercio...] (p. 33) Diógenes Laercio, libro VIII, Pitágoras, 26.

[Algunas costumbres y preceptos...] (p. 33) C. Huffman (Zalta ed.), "Pythagoreanism" en *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, consulta: mayo de 2012.

[Se supone que también Jenófanes...] (p. 34) Freeman (1948), "Xenophanes of Colophon", fr. 7.

[Diógenes Laercio da una lista...] (p. 34) Diógenes Laercio, libro VIII, Pitágoras, 10.

[Un motivo aludido por Aristóteles...] (p. 35) Diógenes Laercio, libro VIII, Pitágoras, 22.

[En una carta a Anaxímenes...] (p. 36) Diógenes Laercio, libro VIII, Pitágoras, 32.

[Se dice que así murió Pitágoras...] (p. 36) Diógenes Laercio, libro VIII, Pitágoras, 25, 26.

[La versión de Shang Gao...] (p. 38) Ver Cheng-Yih Chen (1996), *Early Chinese work in natural science*, Hong Kong University Press.

[El libro de Shang Gao...] (p. 38) C. Cullen (2007), *Astronomy and Mathematics in Ancient China: The Zhou Bi Suan Jing*, Cambridge University Press, p. 140.

[Apastamba...] (p. 38) P. Olivelle (1999), *The Dharmasutras: The Law Codes of Apastamba, Gautama, Baudhayana, and Vasistha*, Oxford: Oxford University Press. "Apastamba" y "The Indian Sulbasutras" en O'Connor y Robertson, *The MacTutor History of Mathematics archive*, consulta: mayo de 2012.

[Filolao...] (p. 38) Diels y Kranz eds. (1960), "Philolaus", fr. 11.

[Hipaso hizo un descubrimiento...] (p. 39) Von Fritz (1944).

[La demostración de este descubrimiento...] (p. 39) Berlinski (2007), p. 22.

[En un texto de Aristóteles...] (p. 40) Aristóteles, *Primeros analíticos*, I.23 (41a23-27). Ver Cohen y Drabkin (1948), p. 13.

[m^2 es par, lo que significa que m es par] (p. 40) Es simple comprobar que todo número par al cuadrado es también par, y todo impar al cuadrado es impar. Un número par se escribe $m = 2x$, al cuadrado da $m^2 = 2(2x^2)$, también par. Un número impar es $m = 2x+1$, al cuadrado da $m = 2(2x^2+2x)+1$, también impar. Estos argumentos demuestran que si m es par, m^2 también. Para demostrar que si m^2 es par, m también, es necesario tener en cuenta que todo número natural es par o impar.

["no deben manifestarse todas...] (p. 42) Diógenes Laercio, libro VIII, Pitágoras, 9.

[Jámblico deja claro...] (p. 43) Jámblico, *Vida pitagórica*, 34 (246)

[Diógenes Laercio menciona...] (p. 43) Diógenes Laercio, libro VIII, Pitágoras, 4.

[Con respecto a Hipaso...] (p. 43) Jámblico, *Vida pitagórica*, 18 (88).

[una actitud común entre los neopitagóricos...] (p. 43) Ver C. Huffman (Zalta ed.), "Pythagoreanism" en *Standford Encyclopedia of Philosophy*, consulta: mayo de 2012.

[Un texto de Platón sugiere...] (p. 44) Ver Russell (1946), p. 169. En otra parte también dice que el universo es una esfera. La asocia-

ción que Platón hace entre sólidos regulares y elementos es: tetraedro - fuego, octaedro - aire, icosaedro - agua, cubo - tierra.

[en otra parte repite la historia...] (p. 44) Jámblico, *Vida pitagórica*, 34 (247).

[El filólogo clásico Von Fritz...] (p. 44) Von Fritz (1944), p. 259.

Capítulo 3 Todo fluye — nada fluye

[Hay intercambio: todas las cosas por fuego...] (p. 51) Diels y Kranz eds. (1960), "Herakleitos", fr. 90.

[Aquellos que se paran en el mismo río...] (p. 52) Diels y Kranz eds. (1960), "Herakleitos", fr. 12.

[Cratilo (...) llegaba hasta creer que...] (p. 53) Aristóteles, *Metafísica*, IV, V, 1010a.

[En el mismo río, nos paramos...] (p. 53) Diels y Kranz eds. (1960), "Herakleitos", fr. 49a.

[consideraba que Pitágoras era...] (p. 53) Diels y Kranz eds. (1960), "Herakleitos", fr. 81 y 129.

[Decía de Homero que...] (p. 53) Diógenes Laercio, libro IX, Heráclito, 1.

[se fue a jugar con tabas...] (p. 53) Diógenes Laercio, libro IX, Heráclito, 2.

[quizá exagerada por biógrafos...] (p. 53) Ver Chitwood (2004).

[personas con catarro...] (p. 54) Chitwood (2004), p. 67.

[un alma seca es la mejor...] (p. 54) Diels y Kranz eds. (1960), fr. 118.

[La receta no era inusual...] (p. 55) Chitwood (2004), p. 85.

[Heráclito murió...] (p. 55) Diógenes Laercio, libro IX, Heráclito, 3.

[Los mejores elijen una sola cosa...] (p. 55) Diels y Kranz eds. (1960), "Herakleitos", fr. 29.

[muchedumbre de insensatos...] (p. 55) Freeman (1948), "Parmenides of Elea", fr. 6. También en Mondolfo (1959), cap. IV, II.

[En este mundo caprichoso...] (p. 56) Russell (1903), 327.

[Zenón era un polemista...] (p. 56) J. Palmer (Zalta ed.), "Zeno of Elea" en *Standford Encyclopedia of Philosophy*, consulta: mayo de 2012.

[Platón se refería a Zenón...] (p. 57) Platón, *Fedro*, 316. Wikisource.

[Es perfectamente verdadero...] (p. 57) Zenón citado por Platón, *Parménides*, p. 164.

[el corredor más lento...] (p. 58) Aristóteles, *Física*, VI, 9, 83.

[cuando Diógenes de Sinope escuchó...] (p. 59) Simplicio de Cilicia, *On Aristotle's Physics* (*Sobre la física de Aristóteles*), 1012.22.

[Russell dice...] (p. 61) Russell (1903), 340.

[La vigencia de Zenón...] (p. 63) Ver también Silagadze (2005).

[Nosotros (la indivisa divinidad...] (p. 63) J. L. Borges (1932), "Avatares de la tortuga" en *Obras completas*, vol. 1, (*Discusión*). Buenos Aires: Emecé, 1993.

[Negar la sucesión temporal...] (p. 64) J. L. Borges (1952), "Nueva refutación del tiempo" en *Obras completas*, vol. 2 (*Otras inquisiciones*). Buenos Aires: Emecé, 1993.

[Zenón fue capturado y torturado...] (p. 64) La versión de que Zenón cortó su lengua es mencionada antes que Diógenes Laercio por Plutarco en *Moralia*, *Contra Colotes*. Versión en inglés: *The Morals*, vol. 5, *Against Colotes, the Disciple and Favorite of Epicurus*, 32.

[Anaxarco] (p. 64) Sobre las escasas referencias que lo conectan con el atomismo, ver T. O'Keefe (Fieser y Dowden eds.), "Anaxarchus" en *Internet Encyclopedia of Philosophy*, consulta: mayo de 2012.

["Esto es sangre...] (p. 65) Diógenes Laercio, libro IX, Anaxarco, 2.

Capítulo 4 Respuestas a Parménides

[...la diosa Luna, que se queja con amargura de los filósofos] (p. 69) Luciano de Samosata (siglo II), *El Ícaro Menipo*, p. 175 (traducción de 1796).

[y el nous también ordena...] (p. 70) Curd, P. (Zalta ed.), "Anaxagoras" en *Standford Encyclopedia of Philosophy*, consulta: mayo de 2012. Fuente original: Diels y Kranz eds. (1960).

[lo llamaban "el señor Nous"] (p. 70) Diels y Kranz eds. (1974), 59 A1.

[la obra de Anaxágoras "no carece de sentido ni de originalidad"] (p. 70) Aristóteles, *Meafísica*, libro 1, parte VIII.

[Anaxágoras se sirve de la Inteligencia...] (p. 70) Aristóteles, *Meafísica*, libro 1, parte IV, sección 985a.

[Según Plutarco...] (p. 71) Plutarco, "Pericles" en *Vidas Paralelas*, VI. Citado en Curd, P. (Zalta ed.), "Anaxagoras" en *Standford Encyclopedia of Philosophy*, consulta: mayo de 2012.

["yo no he perdido a los atenienses..."] (p. 73) Diógenes Laercio, libro II, 4.

[Diógenes Laercio le escribió un epitafio...] (p. 73) Diógenes Laercio, libro II, 8.

[Empédocles compara a la naturaleza...] (p. 74) Diels y Kranz eds. (1960), "Empedocles", fr. 23.

[no hay nacimiento...] (p. 76) Diels y Kranz eds. (1960), "Empedocles", fr. 8 y 11.

[Empédocles es citado...] (p. 77) Diógenes Laercio cita a Sátiro, que cita a Empédocles, libro VIII, 5. También en Diels y Kranz eds. (1960), "Empedocles", fr. 111.

[Decía ser un daimon...] (p. 77) Campbell, G. (Fieser y Dowden eds.), "Empedocles" en *Internet Encyclopedia of Philosophy*, consulta: mayo de 2012.

[Diógenes Laercio le atribuye...] (p. 78) Diógenes Laercio, libro VIII, Empédocles, 6.

[Matthew Arnold escribió...] (p. 79) La versión original del poema es

> To the elements it came from
> Everything will return.
> Our bodies to earth,
> Our blood to water,
> Heat to fire,
> Breath to air.

[Luciano de Samosata (siglo II), en su obra...] (p. 79) Luciano de Samosata (siglo II), *Icaromenipo*, p. 11.

Capítulo 5 No hay más que átomos y vacío

[la naturaleza aborrece el vacío] (p. 85) El *horror vacui* todavía se mantenía en el siglo XVII, hasta que Pascal preguntó si la naturaleza aborrecía más el vacío en París que en Chamonix, haciendo referencia al hecho de que un barómetro de mercurio producía una burbuja de vacío de distinto tamaño en esas localidades, burbuja que la naturaleza no llenaba.

[Según Demócrito...] (p. 86) Diógenes Laercio, libro IX, 9.

[Y sin vacío no tan solamente...] (p. 86) Lucrecio, libro primero, línea 467.

[Demócrito y Leucipo (...) explican...] (p. 86) Aristóteles, *De la generación y la corrupción*, I, 2, 316.

[No conocemos nada en realidad...] (p. 87) Diels y Kranz eds. (1960), "Democritus", fragmento 117.

[Metrodoro de Quíos, fue aún más lejos...] (p. 87) Cicerón, *Academica*, II.23 §73.

[según Hipólito de Roma...] (p. 88) Hipólito, *Refutación de todas las herejías*, 1.13.2.

[Una anécdota cuenta que...] (p. 88) Diels y Kranz eds. (1960), 68A20. Ver también Chitwood (2004), p. 126.

[conductas apropiadas...] (p. 89) Diels y Kranz eds. (1960), "Democritus", fr. 39, 45, 55, 60, 103 y 107a.

[...aspecto siniestro y algo de locura.] (p. 89) Ver Chitwood (2004), p. 121.

[Según unas cartas de Hipócrates...] (p. 89) Hippocrates (Smith, W. D. ed., 1990), *Pseudepigraphic writings*, Leiden: Brill, p. 20. Ver también Chitwood (2004), p. 125.

[fábula de La Fontaine...] (p. 89) J. de La Fontaine, *Fábulas morales escogidas de Juan de la Fontaine*, Madrid: Imprenta Real, 1787.

["mundos innumerables"] (p. 90) Al respecto Simplicio, en *Física*, 1121.5, dice: "Aquellos que admiten mundos infinitos, como Anaximandro, Leucipo, Demócrito y más tarde Epicuro, sostenían que nacen y perecen en número infinito, tomando existencia algunos y disolviéndose otros sin reposo".

[Como dice Epicuro...] (p. 90) Diógenes Laercio, libro X, *Carta de Epicuro a Herodoto*, 33.

[Según Aecio, Metrodoro tenía...] (p. 90) Aecio, *Placita philosophorum*, libro I, cap. V.

[...cuando Hipócrates fue a visitarlo] (p. 90) Diógenes Laercio, libro IX, 7.

["Fui a Atenas y nadie me conoció".] (p. 91) Diógenes Laercio, libro IX, 3.

[Toda la tierra está abierta...] (p. 92) Freeman (1948), "Democritus of Abdera", fr. 247.

[...con respecto a las mujeres] (p. 92) Diels y Kranz eds. (1960), "Democritus", fr. 110, 214 y 111.

[el último acto de su vida...] (p. 92) Diógenes Laercio, libro ix, Demócrito, 8

[coherente con su pensamiento:] (p. 93) Diels y Kranz eds. (1960), "Democritus", fr. 203 y 205.

[Luciano de Samosata...] (p. 93) Luciano de Samosata, *Vitarum Auctio* (*La subasta de los filósofos*), 13-14.

[Diógenes Laercio cuenta que...] (p. 95) Diógenes Laercio, libro IX, 5.

[para los atomistas "las cosas son números o están compuestas de números"] (p. 95) Aristóteles, *De caelo*, libro III, parte 4.

[Algunos pasajes del poema de Lucrecio...] (p. 96) Lucrecio, libro I, línea 97.

[El estoico Epicteto (55-135) se refiere...] (p. 96) Epicteto, "Against the Epicureans and Academics" en *Discourses*, libro II, cap. XX.

[...drogas, sexo y rock'n roll] (p. 97) Esta caricatura del epicureísmo ha sido tomada de Solís y Sellés (2007, p. 111)

[según Dante...] (p. 97) Dante Alighieri (c. 1306), *Divina Comedia, Infierno*, canto X, verso 15.

[Isidoro de Sevilla...] (p. 97) Isidoro de Sevilla, *Etymologiarum libri* XX, VIII, 6.15-23. Wikisource (latin).

[Según un texto...] (p. 98) Diogenes Laercio y otros autores (1598), *Compendio delle vite de filosofi antichi greci et latini*, Venecia: G. Brugnuolo.

[Se conserva, a través de Diógenes Laercio...] (p. 98) Diógenes Laercio, libro X, Epicuro, 15.

[Uno de los pasajes más analizados...] (p. 100) Lucrecio, libro II, línea 273.

[analogía que existe entre el clinamen...] (p. 100) Ver D. Sedley (Zalta ed.), "Lucretius" en *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, consulta: mayo de 2012.

[Cicerón...] (p. 100) Cicerón, *Del destino*, 46-48.

[M. Serres llega a afirmar...] (p. 101) M. Serres (2000), *The Birth of Physics*, Manchester: Clinamen Press. Título original: *La naissance de la physique dans le texte de Lucrèce* (1977). Algunas críticas a otros textos de Serres pueden hallarse en A. Sokal y J. Bricmont (1999), *Imposturas intelectuales*, Barcelona: Paidós.

[Asimov lo considera...] (p. 101) Asimov (1971), p. 33.

[...Lucrecio sea más valorado como poeta que como científico] (p. 101) Ver, por ejemplo, W. Stahl (1962), *Roman Science*. Madison: University of Wisconsin Press.

[Lucrecio dice...] (p. 101) Lucrecio, libro II, línea 294.

[una carta de Epicuro...] (p. 103) Diógenes Laercio, libro x, Epicuro, 42.

[Los átomos deben aventajar en ligereza...] (p. 103) Lucrecio, libro II, línea 202.

[Si reparas, verás cómo se agitan...] (p. 103) Lucrecio, libro II, línea 146.

[el "principio de Lucrecio"] (p. 103) M. Bunge (2010), *Matter and Mind: A Philosophical Inquiry*, Springer, p. 12. La idea, sin embargo, también puede encontrarse en fragmentos de Parménides, cuando dice que lo que es no puede dejar de ser, y que es impensable que lo que no es pueda pasar a ser, Freeman (1948), fr. 7, 8.

[Ninguna cosa nace de la nada] (p. 103) Lucrecio, libro I, línea 211.

[Pero un semblante hermoso y peregrino...] (p. 104) Lucrecio, libro IV, línea 1487 y 1564.

[San Jerónimo, comenta...] (p. 105) Jerónimo de Estridón, *Chronicon*, Olimpíada 171. `http://www.attalus.org/translate/jerome2.html`.

[Isidoro de Sevilla, probablemente...] (p. 105) Isidoro de Sevilla, *Chronicon*, 60.

[Russell (1946) no descarta...] (p. 105) Russell (1946), p. 274.

[También se supone que sufría ataques de catalepsia...] (p. 106) Ver Russell (1946), p. 109.

[Feynman dice...] (p. 106) R. Feynman, R. Leighton y M. Sands (1966), *The Feynman Lectures on Physics*, vol. I, p. 1.2. También en R. Feynman, *Six Easy Pieces: Essentials of Physics Explained by Its Most Brilliant Teacher*, Perseus Books, 1994, p. 4 y p. 20.

Capítulo 6 El método socrático

[Surgió la necesidad de sostener las teorías...] (p. 111) Ver Solís y Sellés (2007), p. 23.

[Eso era lo que opinaba Arquitas] (p. 112) Freeman (1948), "Archytas of Tarentum", fr. 3.

[Según Sócrates...] (p. 112) Citado en Platón (c. 391 a. C.), *Apología de Sócrates*.

[Benjamin Franklin, político y científico...] (p. 113) B. Franklin, *Papers*. Citado en D. Nails (Zalta ed.), "Socrates" en *Standford Encyclopedia of Philosophy*, consulta: mayo de 2012.

[ejemplo del método socrático] (p. 114) Platón (c. 384 a. C.), *Menón*.

["solo sé que no sé nada"] (p. 116) Esta frase muy citada no aparece en realidad en los diálogos de Platón. Una similar es "ahora me acontece no saber nada como resultado de la discusión", en Platón, *La República*, al final del libro I, cap. 13. Otra: "él cree saberlo aunque no sepa nada, y yo, no sabiendo nada, creo no saber", en Platón, *Apología de Sócrates*.

[temer la muerte, atenienses...] (p. 119) Platón, *Apología de Sócrates*.

[Pero ya es tiempo de que nos retiremos de aquí...] (p. 119) Platón, *Apología de Sócrates*, al final.

[Su andar ostentoso era...] (p. 120) Sobre el aspecto de Sócrates y los detalles de su juicio, ver D. Nails (Zalta ed.), "Socrates" en *Standford Encyclopedia of Philosophy*, consulta: mayo de 2012.

[Según Diógenes Laercio...] (p. 120) Diógenes Laercio, libro II, Sócrates, 15.

[...que mi muerte fuera justa?] (p. 121) Diógenes Laercio, libro II, Sócrates, 14.

[La comedia de Aristófanes...] (p. 122) Aristófanes (420 a. C.), *Las Nubes*. Versión en inglés: *The Clouds*, eBooks@Adelaide, The University of Adelaide Library, `http://ebooks.adelaide.edu.au/a/aristophanes/clouds/`.

[En una parte del juicio...] (p. 123) Platón, *Apología de Sócrates*.

[alusión a obras de Eurípides] (p. 124) Mondolfo (1959), cap. V, II, 10, cita a Eurípides diciendo: "Nuestro intelecto es, en cada uno de nosotros, la divinidad", lo que manifiesta su afinidad con las ideas de Anaxágoras.

[no es de ahora, ya lo sabes...] (p. 124) Platón, *Critón*.

[Al entrar, dice:...] (p. 125) Platón, *Fedón*.

[Nietzsche hace la misma...] (p. 125) Nietzsche (1882), *La gaya ciencia*, 340.

[Para Nietzsche, Sócrates...] (p. 127) Nietzsche (1872), *El origen de la tragedia*, p. 93.

Capítulo 7 Tiempo y movimiento

[Se cuenta que Ulises unció...] (p. 133) Higino, *Fabublae* 95. `http://www.theoi.com/Text/HyginusFabulae2.html`.

[Claudio Eliano, autor romano...] (p. 133) Claudio Eliano, *Varia Historia*, 13, 12, versión en inglés: `http://penelope.uchicago.edu/aelian/`.

[Plutarco cuenta que...] (p. 134) Plutarco, *Vidas paralelas*, *Alcibíades*, 17, y *Nicias*, 13.

[qué es el tiempo y cuál es su naturaleza?] (p. 134) Aristóteles, *Física*, IV, 10, 218.

[Aristóteles coincidía en que la unidad...] (p. 134) Aristóteles, *Física*, IV, 14, 223.

[sólo hay cambio y movimiento en...] (p. 134) Aristóteles, *Física*, IV, 10, 218.

[no podemos dejar de investigar qué es el movimiento] (p. 135) Aristóteles, *Física*, III, 1, 201.

[es claro que el movimiento es eterno] (p. 135) Aristóteles, *Física*, VIII, 1, 252.

[La teoría del movimiento de Aristóteles...] (p. 136) Solo se menciona la parte de la teoría que se refiere a la necesidad del medio y al efecto de la densidad; Aristóteles, *Física*, IV, 8.

[Si el vacío existiera, dice Aristóteles...] (p. 137) Aristóteles, *Física*, IV, 8.

[Bien puede ocurrir que *E* no mueva...] (p. 139) Aristóteles, *Física*, VII, 5.

[...ataque a Aristóteles] (p. 141) Ver Russell (1946), p. 182.

[Lo que en un principio movió a los hombres...] (p. 141) Aristóteles, *Metafísica*, I, II.

Capítulo 8 Esferas celestes

[como la década parece ser un número...] (p. 145) Aristóteles, *Metafísica*, I, V, 985.

[no hay mayor dificultad, pensaron...] (p. 146) Aristóteles, *De Caelo*, libro II, parte 13, II.

[Si estuviera en el exterior...] (p. 146) Arquitas citado en Simplico, *Física*. Ver Heath (1921), vol. 1, p. 214.

[no hay nada además del Todo...] (p. 147) Aristóteles, *Física*, IV, 5, 212.

[...su luz no llega hasta nosotros] (p. 147) La razón no es que la luz se haga demasiado tenue por la distancia, sino que, debido a la expansión del Universo, la cantidad de espacio intermedio que se crea por unidad de tiempo es mayor que la velocidad de la luz.

[tamaño del Universo visible...] (p. 147) Ver C. Lineweaver y T. Davis (2005), *Misconceptions about the Big Bang*, Scientific American, febrero 2005, `http://space.mit.edu/~kcooksey/teaching/AY5/MisconceptionsabouttheBigBang_ScientificAmerican.pdf`

[Heath escribió...] (p. 149) Heath (1921). Citado por O'Connor y Robertson.

[Simplicio cuenta...] (p. 150) Simplicio de Cilicia (siglo VI), *Commentary on Aristotle's "On the Heavens"*, 488.7-24.

[Investigaciones más recientes...] (p. 150) Ver "Eudoxus" en O'Connor y Robertson, o Knorr, W. R. (1990), *Plato and Eudoxus on the planetary motions*, J. Hist. Astronom. 21 (4), 313.

[...reconocida recién hacia fines del siglo XIX.] (p. 152) Demofilos Ion, Η Ιπποπεδη του Ευδοξου και η ουρανια μηχανικη (*La hipopeda de Eudoxo y la mecánica celeste*), `http://www.freeinquiry.gr/pro.php?id=673`.

[Diógenes Laercio cuenta que...] (p. 152) Diógenes Laercio, libro VIII, Eudoxo, 1. Heath (1913, p. 192) dice que, en apariencia, no hay fundamento para esta historia contada por Diógenes Laercio. Lo mismo podría decirse de gran parte de lo que se conoce sobre la vida de los filósofos antiguos.

[Aristóteles, en cambio...] (p. 152) Aristóteles, *Metafísica*, libro II, III.

[Dante, siguiendo a su adorada Beatriz...] (p. 153) Dante Alighieri (c. 1306), *Divina Comedia, Paraíso*, canto XXII, verso 133.

[la Tierra está en el centro...] (p. 153) Heráclides ha recibido fama de ser el primero en proponer un sistema heliocéntrico, con el Sol en el centro. Hoy se cree que esa atribución, basada en evidencia dudosa, está equivocada: ver O'Connor y Robertson.

[Según O'Connor y Robertson...] (p. 154) O'Connor y Robertson, "Heraclides of Pontus" en *The MacTutor History of Mathematics archive*, consulta: mayo de 2012.

[...mencionadas por Diógenes Laercio] (p. 154) Diógenes Laercio, libro V, Heráclides Póntico, 3-4.

[Así lo cuenta Arquímedes] (p. 155) Arquímedes, *El contador de arena*, cap. I. Versión en inglés: *The Sand Reckoner*, `http://web.fccj.org/~ethall/archmede/sandreck.htm`.

[como menciona Plutarco...] (p. 159) Plutarco, *Moralia*, vol. 9, *Sobre la cara visible de la Luna*, 6, 923A, p. 138.

[señala Heath...] (p. 159) Heath (1913), p. 301.

[...criticó con dureza a Copérnico y a Aristarco] (p. 159) Melanchthon, P. (1549), *Initia Doctrinae Physicae*; citado en Rosen, E. (1995), *Copernicus and his Successors*, London: Hambledon Press.

[Proyecto Eratóstenes] (p. 162) El Proyecto Eratóstenes está organizado, en Argentina, por la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Mendoza; la Asociación Física Argentina y el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Ver `http://www.difusion.df.uba.ar/joomla`

[Lo llamaban Beta...] (p. 163) "Eratosthenes" en la enciclopedia bizantina *Suda*. `http://www.stoa.org/sol/`.

[Como señala Claudio Ptolomeo...] (p. 163) Ptolomeo, *Almagesto*, I, 7. Ver Solís y Sellés (2007, p. 169).

[H. Thurston, historiador...] (p. 168) H. Thurston (1998), *R. R. Newton versus Ptolemy*, DIO, vol. 8, p. 3. `http://www.dioi.org/vols/w80.pdf`. El artículo presenta una exposición resumida de los razonamientos del libro de R. R. Newton (1977).

[Reproduzco la de G. Toomer...] (p. 168) G. J. Toomer (Gillespie ed. 1970), "Ptolemy" en *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 11, Nueva York: Scribner & American Council of Learned Societies, p. 196.

Capítulo 9 El determinismo de Crisipo

["Sin Crisipo no habría Stoa"] (p. 173) Diógenes Laercio, libro VII, Crisipo, 4.

[Los estoicos igualaban virtud...] (p. 174) Ver D. Baltzly (Zalta ed.), "Stoicism" en *Standford Encyclopedia of Philosophy*, consulta: mayo de 2012.

[Crisipo decía...] (p. 174) Citado en Cicerón, *Del destino*, 20-21.

[Cicerón distinguía este destino...] (p. 174) Cicerón, *De la adivinación*, 1.125-6. Citado en Long y Sedley (1987), p. 337.

[las predicciones de los adivinos...] (p. 175) Crisipo citado por Diogenianus, en Eusebio de Cesarea, *Praeparatio evangelica* 4.3.1. Ver Long y Sedley (1987), p. 338.

[Muchas veces los aqueos...] (p. 175) Homero, Ilíada, XIX, 85. Wikisource.

[En la Odisea, Zeus se lamenta...] (p. 175) Homero, Odisea, I, 32. Wikisource.

[la onda piloto de de Broglie] (p. 176) Sobre la teoría de la onda piloto, ver P. R. Holland (1993), *The quantum theory of motion* (Cambridge: Cambridge University Press); o J. T. Cushing (1994), *Quantum mechanics: historical contingency and the Copenhagen hegemony* (Chicago: The University of Chicago Press). Cushing opina que el hecho de que la interpretación de Copenhagen de la mecánica cuántica sea la que se aprende en las universidades es una contingencia histórica, pues si la teoría de la onda piloto hubiera sido desarrollada antes, ésa sería la utilizada ahora.

[como dijo Mencken...] (p. 176) H. L. Mencken (1934), *Treatise on Right and Wrong*, citado en M. Gardner, *Los porqués de un escriba filósofo* (1983), Barcelona: Tusquets Editores, 2001, p. 108.

[Diógenes Laercio cita...] (p. 177) Diógenes Laercio, libro VII, Crisipo, 7.

[La respuesta de Crisipo...] (p. 179) Plutarco, *De communibus notitiis* (*Sobre las nociones comunes*), citado en Hahm (1972). El texto de Plutarco es una crítica a los estoicos.

[...la interpretación de Plutarco] (p. 179) Plutarco, *The Morals*, vol. 3, *A Breviate of a Discourse, Showing That the Stoics Speak Greater Improbabilities Than the Poets*.

[Los biógrafos de la antigüedad...] (p. 179) Los comentarios sobre la personalidad de Crisipo están en Diógenes Laercio, libro VII (Crisipo), donde también se citan comentarios de otros biógrafos.

[empezaba a contender elevando la voz] (p. 180) Una actitud similar ha sido atribuida al físico ruso Lev Landau, en E. L. Feinberg, *Physicists, Epoch and Personalities* (2011), World Scientific.

[...más altos que sus intereses] (p. 181) Ver D. Baltzly (Zalta ed.), "Stoicism" en *Standford Encyclopedia of Philosophy*, consulta: mayo de 2012.

[Séneca obtuvo gran parte...] (p. 181) Ver Russell (1946), p. 283.

Capítulo 10 Un hombre contra un ejército

[Arquímedes fue más allá de postular la ley de la palanca...] (p. 189) Una versión de la deducción de Arquímedes más cercana a la original puede hallarse en G. Gamow (1961), *The great physicists, from Galileo to Einstein* (antes publicado como *Biography of Physics*), New York: Dover Publications, 1988, p. 8.

[el centro de gravedad de un cuerpo homogéneo está en su centro geométrico] (p. 190) Un cuerpo homogéneo tiene un centro de *masa* que coincide con el centro geométrico. Para cuerpos ordinarios sobre la superficie de la Tierra, o para campos gravitatorios homogéneos, el centro de gravedad coincide con el de masa.

[la garra de hierro...] (p. 192) Rorres y Harris (2001), Young (2004).

[Livio cuenta que...] (p. 192) Livio, *Historia de Roma*, libro XXV.31.

[Según el relato que reproducen varios...] (p. 194) Por ejemplo, Livio (siglo I a. C.), Valerio Máximo (siglo I) y Plutarco (siglo I-II).

[imagen popular del científico abstraído...] (p. 194) Ver C. Voza, *The Death of Archimedes: A Reassessment* en *The Genius of Archimedes – 23 Centuries of Influence on Mathematics, Science and Engineering* (S. A. Paipetis y M. Ceccarelli, eds.), Springer, 2010, p. 507.

[Plutarco da otra versión...] (p. 194) Plutarco, *Vidas paralelas: Marcelo*, XIX.

[Según Cicerón...] (p. 195) Cicerón, *Sobre la república*, libro 1, XIV §22.

[personalidad de Arquímedes...] (p. 196) R. Netz (Keyser e Irby-Massie eds. 2008), "Archimedes of Surakousai" en *The Encyclopedia of Ancient Natural Scientists*, p. 127.

Capítulo 11 Mujeres antiguas

[...primer mujer astrónoma] (p. 199) Ogilvie (1990).

[Plutarco dice...] (p. 199) Plutarco, *Moralia*, vol. 2, *Deberes del matrimonio*, 48, 145C, p. 203. Algo similar dice en vol. 6, *Diálogos píticos*, 13, 417A, p. 378.

[E. Schuré afirma...] (p. 201) E. Schuré (1889), *Los grandes iniciados*, libro V, cap. V.

[La alquimia floreció en Alejandría...] (p. 201) Alic (1991).

[María la Hebrea] (p. 202) La principal fuente de información sobre María son los trabajos de Zósimo de Panópolis, nacido c. 300 en el Egipto helénico. Sus libros de alquimia son los más antiguos que se conocen.

[baño María...] (p. 202) Patai (1995).

[Hipatia de Alejandría] (p. 205) Dzielska (2004), Alic (1991) y Deakin (1994).

[Había una mujer en Alejandría que se llamaba Hipatia...] (p. 208) Sócrates de Constantinopla. *Historia ecclesiastica*, VII, 15.

[“De esto estás enamorado...] (p. 208) Damascio, en la entrada de Hipatia en la enciclopedia bizantina *Suda*. `http://www.stoa.org/sol/`

[Como decía Plotino...] (p. 209) Plotino. *Eneadas* 1.6.8.

[Hipatia, o la historia de una de las...] (p. 210) Toland, J. (1720). *Hypatia: Or the History of a most beautiful, most vertuous, most learned, and every way accomplish'd Lady; who was torn to pieces by the Clergy of Alexandria, to gratify the pride, emulation, and cruelty of their Archbishop, commonly, but undeservedly, stil'd St. Cyril*. Londres.

[La historia de Hipatia, la más descarada...] (p. 210) Lewis, T. (1721). *The History of Hypatia, a most Impudent School-Mistress of Alexandria: Murder'd and torn to Pieces by the Populace, in Defence of Saint Cyril and the Alexandrian Clergy from the Aspersions of Mr. Toland*.

[“este suceso acarreó no escaso oprobio...] (p. 210) Sócrates de Constantinopla. *Historia ecclesiastica*, VII, 15.

[Según algunos estudios, la leyenda de santa Catalina...] (p. 212) Ver Dzielska (2004, p. 128) y las referencias citadas allí. Un trabajo de B.A. Myrsilides en *Annuaire scientifique de la Faculté de philosophie de l'Université d'Athènes*, IIème période, 24 (1973-1974), p. 418-420, menciona la existencia de una iglesia antigua en Asia Menor, cerca de Laodicea, con una inscripción que indicaba que el santuario estaba dedicado a “santa Hipatia Catalina”.

Capítulo 12 Primeros cristianos

[Explicó la relación que existe entre el tono...] (p. 215) Boecio, *De institutione musica*, I, 3; citado en Cohen y Drabkin (1948), p.

292.

[...fue observada también por Arquitas] (p. 216) Arquitas, fr. 1, ver Cohen y Drabkin (1948), p. 286.

[los estoicos habían dicho...] (p. 216) Diógenes Laercio, VII, Zenón de Citio, 107.

[Boecio utilizó la misma imagen...] (p. 217) Boecio, *De institutione musica*, I, 14; citado en Cohen y Drabkin (1948), p. 293.

[Teodorico el Grande...] (p. 217) Sobre Boecio y el contexto político durante el reinado de Teodorico, ver, por ejemplo, Russell (1946), libro 2, cap. 5.

[Russel cuenta que...] (p. 218) Russell (1946), libro 2, cap. 5, p. 392.

[una personificación de la filosofía habla con él...] (p. 218) Boecio (524), *Consolación de la filosofía*, libro II. Versión en inglés: *The Consolation of Philosophy*, Nueva York: Carlton House, p. 20

[Mira la extensión del cielo...] (p. 220) Boecio (524), *Consolación de la filosofía*, libro III, prosa 8. Versión en inglés: *The Consolation of Philosophy*, Nueva York: Carlton House, p. 54

[Filópono opina...] (p. 221) Juan Filópono, *Comentario a la Física de Aristóteles*, 639.3-642.9. Ver Cohen y Drabkin (1948), p. 221-223.

[Se ha dicho que son los ángeles...] (p. 221) Juan Filópono, *De opificio mundi*, 28.20-29.9. Ver Solís y Sellés (2007), p. 121.

[...la relación de proporcionalidad no es válida] (p. 222) Esta salvedad aparece en la discusión sobre la relación del movimiento con el motor y el peso, Aristóteles, *Física*, VII, 5; citado en Cohen y Drabkin (1948), p. 203.

["Pero esto es completamente erróneo...] (p. 222) Juan Filópono, *Comentario a la Física de Aristóteles*, p. 683. Ver Cohen y Drabkin (1948), p. 220.

[Según Zonaras...] (p. 224) E. Gibbon (1854). *The history of the decline and fall of the Roman empire*, vol. 5, p. 71. Londres: John Murray. Gibbon cita: Zonaras (1. XIV. p. 55), y dice que Zonaras no cita ninguna evidencia.

[afirma Agatías...] (p. 225) Agatías (c. 580), libro V, 6-9.

[Procopio de Cesarea...] (p. 228) Procopio de Cesarea (c. 557), *Sobre los edificios*, libro I, cap. 1, 23. Versión en inglés: *Buildings*, Trad. H. B. Dewing, Loeb Classical Library vol. VII, 1940. `http://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Procopius/Buildings/home.html`.

Capítulo 13 Destrucción

[menciona 325 localidades para...] (p. 233) Keyser e Irby-Massie eds. (2008, p. 4).

["nadie ignorante de la geometría pase bajo mi techo".] (p. 235) La cita aparece, por ejemplo, en una obra de Juan Filópono (siglo VI), *De Anima*, *Comm. in Arist. Graeca*, XV, ed. M. Hayduck, Berlin 1897, p. 117, 29. Ver B. Suzanne, *Plato and his dialogues*, `http://plato-dialogues.org/faq/faq009.htm`, consulta: mayo de 2012, donde se dice que una traducción más correcta de la inscripción sería "nadie no apto para la geometría entre".

[Plutarco cuenta que...] (p. 235) Plutarco. *Vidas paralelas, Sila*, XII.

[y el mismo Sila, derribando...] (p. 235) Plutarco. *Vidas paralelas, Sila*, XIV.

["allí donde hay número, hay belleza".] (p. 237) Citado en Kline, M. (1972), *Mathematical Thought From Ancient to Modern Times*, Oxford University Press.

[Problemas con algunos cristianos...] (p. 237) Marinos de Neapolis. *Vita Procli*, 15. Citado en Keyser e Irby-Massie eds. (2008, p. 698).

[Agatías cuenta que...] (p. 237) Agatías (c. 580), libro II, 30.

[El Museo de Alejandría, y su Biblioteca] (p. 238) Canfora (1990), Phillips (2010).

[Según Galeno...] (p. 239) Galeno. Comentario a *Epidemias* de Hipócrates, vol. XVIIa, p. 606 de las obras de Galeno editadas por C. G. Kühn, 1828. `http://www.attalus.org/translate/extracts.html`

[Asimov, en sus Biografías...] (p. 240) Asimov (1971), p. 24.

[Omar respondió...] (p. 240) La cita de Omar aparece en *Historia Compendiosa Dynastiarum*, de Bar-Hebraeus (1226 - 1286) que, a su vez, se basó en un relato de Al-Qifti (c. 1172 - 1248). Se ha utilizado la traducción de Canfora (1990, p. 98).

[Algunos historiadores dudan de este relato] (p. 241) Por ejemplo, E. Gibbon en *Historia de la decadencia y caída del Imperio romano* (1788, cap. 25), o Mustafá el-Abbadi en *La Antigua Biblioteca de Alejandría, Vida y destino* (París-Madrid: Unesco 1994). Canfora (1990) da algunos argumentos por los que Filópono podría haber vivido en el siglo VII. Sin embargo, la mayoría de los especialistas

parece coincidir en que debió vivir durante el siglo VI teniendo en cuenta, entre otras cosas, que fue discípulo de Amonio de Hermia (c. 440 - c. 520) quien, a su vez, fue discípulo de Proclo (410 - 485).

[Sagan hace coincidir...] (p. 241) Sagan, C. (1997). *Cosmos*. Barcelona: Planeta.

[Sócrates de Constantinopla cuenta que...] (p. 241) Sócrates de Constantinopla. *Historia ecclesiastica*, V, 16. Wikisource.

["el hombre del Museo"] (p. 242) "Theon" en la enciclopedia bizantina *Suda*, siglo X. `http://www.stoa.org/sol/`

[ataques y saqueos que sufrió Alejandría...] (p. 242) En 215 el emperador romano Caracalla saqueó la ciudad; Valeriano la atacó en 253. En 297, la revuelta de Domiciano acabó con la ciudad saqueada por Diocleciano. Según Plutarco (*César*, XLIX, 3, 2-3), Julio César, durante una batalla en Alejandría en 48 a. C., incendió la Biblioteca, pero los historiadores opinan que el Museo y la Biblioteca no se vieron afectados por esa batalla, en la que solo se incendió parte del puerto.

BIBLIOGRAFÍA

Aecio (siglo II a. C.), *Placita philosophorum* (resumen de Pseudo-Plutarco). Versión en inglés: *Sentiments concerning nature with which philosophers were delighted*, eBooks@Adelaide, The University of Adelaide Library, `http://ebooks.adelaide.edu.au/p/plutarch/nature/`.

Agatías (c. 580), *Historias*. Versión en inglés: Agathias, *The histories*, Berlin: De Gruyter, 1975.

Alic, M. (1991). *El legado de Hipatia: historia de las mujeres en la ciencia desde la antigüedad hasta fines del siglo* XIX. México: Siglo XXI.

Aristóteles (siglo IV a. C.). *Metafísica*. Wikisource.

— (siglo IV a. C.). *Física*. Wikisource.

— (siglo IV a. C.). *Del cielo* (*De Caelo*). Versión en inglés: *On the Heavens*, en The Internet Classics Archive, MIT, `http://classics.mit.edu/Aristotle/heavens.html`.

— (siglo IV a. C.). *De la generación y la corrupción*. Versión en inglés: *On the Generation and Corruption*, eBooks@Adelaide, The University of Adelaide Library, `http://ebooks.adelaide.edu.au/a/aristotle/corruption/`.

Asimov, I. (1971). *Enciclopedia Biográfica De Ciencia Y Tecnología*. Buenos Aires: Emecé.

— (1984). *Momentos Estelares de la Ciencia*. Barcelona: Salvat Editores S.A.

Berlinski, D. (2007). *Ascenso infinito*. Buenos Aires: Debate.

Canfora, L. (1990). *The Vanished Library: A Wonder of the Ancient World*. Berkeley y Los Angeles: University of California Press.

Chitwood, A. (2004). *Death by Philosophy: The Biographical Tradition in the Life and Death of the Archaic Philosophers Empedocles, Heraclitus, and Democritus*. Ann Arbor: The University of Michigan Press.

Cicerón (siglo I a. C.). *Del destino*. `http://defato-deldestino.blogspot.com/`.

— (siglo I a. C.). *De la adivinación*. En *Obras completas de Marco Tulio Cicerón*, tomo V, Trad. M. Menéndez y Pelayo, Madrid: Librería de los sucesores de Hernando, 1924. `http://www.bibliojuridica.org/libros/libro.htm?l=786`.

Cohen, M. R., y Drabkin, I. E. (1948). *A source book in Greek science*. Nueva York: McGraw-Hill.

Colli, G. (2000). *El nacimiento de la filosofía*. Barcelona: Tusquets Editores.

Daintith, J., editor (2009). *Biographical Encyclopedia of Scientists*. Boca Ratón, Londres y Nueva York: CRC Press.

Deakin, M.A.B. (1994). *Hypatia and Her Mathematics* en *The American Mathematical Monthly*, marzo, vol. 101(3), p. 234.

Diels, H. y Kranz, W., editores (1960). *Die Fragmente der Vorsokratiker*. Berlin: Weidmannsche Verlagsbuchhandlung, 9na ed. Una versión en inglés de los fragmentos puede encontrarse en Freeman (1948).

Diógenes Laercio (siglo III). *Vidas, opiniones y sentencias de los filósofos más ilustres*. Trad. J. Ortiz y Sanz; Madrid: Perlado, Páez y C., 1922.

Droit, R.P. y de Tonnac, J.P. (2004). *Tan locos como sabios, vivir como filósofos*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica de Argentina.

Dzielska, M. (2004). *Hipatia de Alejandría*. Madrid: Ediciones Siruela.

Fieser, J. y Dowden, B., editores. *Internet Encyclopedia of Philosophy, A Peer-Reviewed Academic Resource*. `http://www.iep.utm.edu/`.

Freeman, K. (1948). *Ancilla to the Pre-Socratic Philosophers*. Harvard University Press.

Hahm, D. E. (1972). *Chrysippus' Solution to the Democritean Dilemma of the Cone*. Isis, vol. 63(2), p. 205.

Heath, T. (1913). *Aristarchus of Samos, the ancient Copernicus*. Oxford: Clarendon Press.

— (1921), *A History of Greek Mathematics*, vol. I y II, Oxford: Clarendon Press.

Heródoto (c. 444 a. C.). *Los nueve libros de la historia*. Wikisource.

Keyser, P.T. e Irby-Massie, G.L., editores (2008). *The Encyclopedia of Ancient Natural Scientists*. Londres y Nueva York: Routledge.

Long, A. A., editor (1999). *The Cambridge companion to early Greek philosophy*. Cambridge: Cambridge University Press.

Long, A. A. y Sedley, D. N. (1987). *The Hellenistic philosophers*, vol. 1. Cambridge: Cambridge University Press.

Luciano de Samosata (siglo II). *Vitarum Auctio* (*La subasta de los filósofos*). Versión en inglés: *Sale of Creeds*, `http://www.sacred-texts.com/cla/luc/wl1/wl179.htm`.

— (siglo II). *Icaromenipo* en *Obras* de Luciano (bilingüe). Madrid: Editorial Gredos, 1996. También en *Diálogos Morales*, Madrid: M. Álvarez, 1796.

Lucrecio (Tito Lucrecio Caro, siglo I a. C.). *De la naturaleza de las cosas*, traductor: J. Marchena, Madrid: Librería de Hernando y Compañía, 1918. `http://www.cervantesvirtual.com/obra/de-la-naturaleza-de-las-cosas-poema-en-seis-cantos--0/`.

Misra, B. y Sudarshan, E. C. G. (1977). *The Zeno's paradox in quantum theory*. Journal of Mathematical Physics **18**, 756.

Mondolfo, R. (1959). *El pensamiento antiguo*. Buenos Aires: Editorial Losada.

Newton, R. G. (2007). *From Clockwork to Crapshoot, a history of physics*. Cambridge: Harvard University Press.

Newton, R. R. (1977). *The Crime of Claudius Ptolemy*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

Nietzsche, F. (1872). *El origen de la tragedia*. Buenos Aires: Ediciones siglo veinte, 1992.

— (1882). *La gaya ciencia*. Madrid: Editorial Edaf, 2002.

O'Connor, J. y Robertson, E. *The MacTutor History of Mathematics archive*, School of Mathematics and Statistics, University of St Andrews, Scotland. `http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/`.

Ogilvie , M. B. (1990). *Women in science: antiquity through the nineteenth century*. The Massachusetts Institute of Technology.

Park, D. (1988). *The How and the Why*. Princeton: Princeton University Press.

Patai, R. (1995). *The Jewish Alchemists: A History and Source Book*. New Jersey: Princeton University Press.

Phillips, H. (2010). *The Great Library of Alexandria?*. Library Philosophy and Practice, agosto 2010. `http://unllib.unl.edu/LPP/phillips.htm`.

Platón (c. 391 a. C.), *Apología de Sócrates*. Wikisource.

— (c. 391 a. C.), *Critón*. Wikisource.

— (c. 387 a. C.), *Fedón*. Wikisource.

— (c. 384 a. C.), *Menón*. Wikisource.

— (c. 378 a. C.), *Parménides*. P. de Azcárate, Madrid: Medina y Navarro Editores, 1872, `http://www.filosofia.org/cla/pla/azcarate.htm`

Plutarco (siglo I). *Vidas paralelas*. Wikisource.

— (siglo I). *Obras morales y de constumbres (Moralia)*. Trad. C. Morales Otal y J. García López, Madrid: Gredos, 1986. Versión en inglés: *The Morals*, Boston: Little, Brown, and Co., 1878. The Online Library of Liberty, `http://oll.libertyfund.org/index.php`.

Rorres, C., y Harris, H. G. (2001). *A Formidable War Machine: Construction and Operation of Archimedes' Iron Hand* en *Extraordinary Machines and Structures in Antiquity* (S. A. Paipetis ed., 2003). Patras: Peri Technon, p. 95.

Russell, B. (1903). *Principles of Mathematics*. Londres y Nueva York: Routledge Classics, 2010.

— (1946). *A History of Western Philosophy*. Londres: George Allen & Unwin Ltd.

Silagadze, Z. K. (2005). *Zeno meets modern science*, Acta Phys. Polon. B36, 2887, `http://uk.arxiv.org/abs/physics/0505042`.

Solís, C. y Sellés, M. (2007). *Historia de la ciencia*. Madrid: Espasa Calpe.

Stewart, I. (2008). *Historia de las matemáticas*. Barcelona: Crítica.

Von Fritz, K. (1945). *The discovery of incommensurability by Hippasus of Metapontum*. Annals of Mathematics, vol. 46(2), p. 242.

Vucetich, H. (2013). *El cambio en Física: desde Grecia hasta ahora*, preprint.

Young, C. K. (2004). *Archimedes's iron hand or claw – a new interpretation of an old mystery*, Centaurus, vol. 46(3), p. 189.

Zalta, E.N., editor. *Standford Encyclopedia of Philosophy*. `http://plato.stanford.edu`.

FUENTES DE FIGURAS

ÍNDICE ALFABÉTICO

ÍNDICE


eudem